

SÉRIE A. N^o 994

N^o D'ORDRE :

1827

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M. Raymond CHEVALLIER

AGRÉGÉ, PRÉPARATEUR DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE AU COLLÈGE DE FRANCE

1^{re} THÈSE. — L'AIMANTATION DES LAVES DE L'ETNA ET L'ORIENTATION DU CHAMP TERRESTRE EN SICILE DU XII^e AU XVII^e SIÈCLE.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **22** Janvier 1925 devant la Commission d'examen.

MM. JEAN PERRIN *Président.*

COTTON..... } *Examineurs.*
MAURAIN.. }

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1925

SÉRIE A. N° 994

N° D'ORDRE :

1827

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M. Raymond CHEVALLIER

AGRÉGÉ, PRÉPARATEUR DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE AU COLLÈGE DE FRANCE

1^{re} THÈSE. — L'AIMANTATION DES LAVES DE L'Éтна ET L'ORIENTATION DU CHAMP TERRESTRE EN SICILE DU XII^e AU XVII^e SIÈCLE.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le **22** Janvier 1925 devant la Commission d'examen.

MM. JEAN PERRIN *Président.*

COTTON } *Examineurs.*
MAURAIN }

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1925

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen..... MOLLIARD, *Prof.*... Physiologie végétale.
Doyen honoraire.... P. APPELL.
 P. PUISEUX.
Profess. honoraires.. } VÊLAIN.
 BOUSSINESQ.
 PRUVOT.



	E. PICARD.....	Analyse supér. et algèbre supérieure.
	KOENIGS.....	Mécanique physique et expérimentale.
	GOURSAT.....	Calcul différentiel et calcul intégral.
	HALLER.....	Chimie organique.
	JOANNIS.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	JANET.....	Electrotechnique générale.
	WALLERANT.....	Minéralogie.
	ANDOYER.....	Astronomie.
	PAINLEVÉ.....	Mécanique anal. et mécan. céleste.
	HAUG.....	Géologie.
	H. LE CHATELIER.	Chimie générale.
	G. BERTRAND....	Chimie biologique.
	M ^{me} P. CURIE.....	Physique générale et radioactivité.
	CAULLERY.....	Zoologie (Evolution des êtres organisés)
	C. CHABRIÉ.....	Chimie appliquée.
	G. URBAIN.....	Chimie minérale.
	EMILE BOREL.....	Calcul des probabilités et phys. mathém.
	MARCHIS.....	Aviation.
	JEAN PERRIN.....	Chimie physique.
	ABRAHAM.....	Physique.
	CARTAN.....	Mécanique rationnelle.
	LAPICQUE.....	Physiologie.
	GENTIL.....	Géographie physique.
	VESSIOT.....	Théorie des groupes et calc. des variat.
	COTTON.....	Physique générale.
<i>Professeurs</i>	DRACH.....	Application de l'analyse à la géométrie.
	C. FABRY.....	Physique.
	CHARLES PÉREZ ...	Zoologie.
	LEDUC.....	Physique théorique et phys. céleste.
	LÉON BERTRAND...	Géologie appliquée et géolog. régionale.
	DANGEARD.....	Botanique.
	LESPIEAU.....	Théories chimiques.
	RABAUD.....	Biologie expérimentale.
	PORTIER.....	Physiologie comparée.
	MAURAIN.....	Physique du Globe.
	MONTEL.....	Mathématiques générales.
	WINTREBERT.....	Anatomie et histologie comparées.
	DUBOSCQ.....	Biologie maritime.
	N.....	Géométrie supérieure.
	HÉROUARD.....	Zoologie.
	RÉMY PERRIER ...	Zoologie (Enseignement P. C. N.).
	SAGNAC.....	Physique théorique et physique céleste.
	BLAISE.....	Chimie organique.
	PÉCHARD.....	Chimie (Enseignement P. C. N.).
	AUGER.....	Chimie analytique.
	M. GUICHARD.....	Chimie minérale.
	GUILLET.....	Physique.
	JULIA.....	Mathématiques générales.
	MAUGUIN.....	Minéralogie.
	BLARINGHEM.....	Botanique.
	MICHEL-LÉVY.....	Pétrographie.
<i>Secrétaire</i>	D. TOMBECK.	

A la mémoire de
MA MÈRE

A mon maître
M. MARCEL BRILLOUIN
Membre de l'Institut
Professeur au Collège de France



Digitized by the Internet Archive
in 2026

L'AIMANTATION DES LAVES DE L'ETNA ET L'ORIENTATION DU CHAMP TERRESTRE EN SICILE DU XII^e AU XVII^e SIÈCLE

Par RAYMOND CHEVALLIER

SOMMAIRE

Les laves, au cours de leur refroidissement, s'aimantent suivant le champ magnétique où elles sont placées. L'objet du présent mémoire est d'abord de chercher dans quelle mesure cette propriété permet de les utiliser comme documents des variations séculaires du champ terrestre, puis d'appliquer ces conclusions à diverses coulées historiques de l'Etna pour retrouver l'orientation de ce champ en Sicile du XII^e siècle à nos jours.

Le *premier chapitre* est consacré à l'historique de la question (Melloni, Folgheraiter, Brunhes et David, Mercanton).

Dans le chapitre suivant (*chap. II*) sont réunis tous les documents géographiques relatifs aux coulées utilisées et aux points précis où les prélèvements d'échantillons ont été faits.

Puis ayant rappelé (*chap. III*) les propriétés physiques des laves et le mécanisme de leur aimantation, j'ai indiqué les conditions à exiger des points de prélèvement. On notera que l'aimantation des parties solidifiées troublant largement le champ terrestre, l'uniformité ne saurait être rigoureuse et il est nécessaire de travailler sur des moyennes.

Mais ces fragments de lave doivent nous fournir une direction d'aimantation, rapportée à des repères géographiques (méridien géographique et plan horizontal). Le *chapitre IV* indique la méthode suivie dans ce repérage d'orientation et les détails techniques s'y rattachant (taille des roches, réglages spéciaux du théodolite, etc.).

Les échantillons étant maintenant recueillis, ils nous donnent le champ où ils se sont solidifiés, mais quel rapport ce champ en milieu *aimanté*, variable de mètre en mètre, a-t-il avec le champ régulier hors du massif? Le *chapitre V* montre comment on

peut passer de l'un à l'autre et parler de déclinaison en terrain volcanique.

Il reste à mesurer l'aimantation des échantillons, c'est l'objet du *chapitre VI*.

La méthode magnétométrique, fort sensible, a l'inconvénient d'exiger des échantillons de forme géométrique définie, car la distance au barreau doit être faible. Les méthodes d'induction permettent au contraire d'utiliser des fragments de forme quelconque. Cet avantage est considérable. Deux procédés sont décrits, l'un *balistique pur*, l'autre utilisant la *résonance* du galvanomètre, quand la substance aimantée tourne avec sa période d'oscillation.

Les résultats sont exposés dans le *chapitre VII* et résumés à la fin de ce chapitre ; voici les principaux :

1° La moyenne des déclinaisons figées par une coulée, fournit approximativement la déclinaison hors du volcan à l'époque de l'éruption et permet bien de suivre les variations séculaires, mais l'inclinaison est beaucoup plus troublée et ne saurait être utilisée sans correction.

2° L'intensité d'aimantation variable dans les régions superficielles tend vers une limite inférieure dans les régions centrales. Cette limite inférieure seule est constante le long d'une coulée. Pour les divers courants historiques elle s'est d'ailleurs montrée sensiblement fixe et voisine de 0,008 C. G. S. Cette aimantation peut atteindre 0,015 à la surface et 0,1 à certains « punti distinti ».

3° Ces courants historiques fournissent une courbe de *déclinaison* qui prolonge exactement la courbe connue. Elle passe du côté *oriental* vers 1630, par un minimum de 18° *orientaux* vers 1440 et redevient occidentale vers 1240, fournissant une période de 750 ans si toutefois le phénomène continue à être périodique. Les arches orientales et occidentales, sans avoir même forme, ont d'ailleurs une même amplitude de 18° et une même longueur de 375 ans.

4° La courbe d'inclinaison tout en restant comprise entre 50° et 60°, montre au contraire des discontinuités que j'attribue aux laves sous-jacentes.

5° La coulée de la Sona que des raisons diverses localisent entre la décadence romaine et l'invasion normande, correspond exactement au point de vue magnétique à l'éruption de 812 et non de 1169 comme on l'avait supposé.

CHAPITRE PREMIER

Magnétisme des roches. — Historique.

Je ne me suis pas proposé dans cette étude d'aborder le magnétisme des roches sous son aspect le plus général mais seulement dans ses rapports avec le champ terrestre et en tant que document pour l'histoire de ce champ. Je ne me suis pas toutefois interdit d'aborder quelques aspects connexes, surtout s'ils avaient une répercussion sur ce point particulier de physique du globe ; mais je ne les ai abordés qu'incidemment réservant pour des études postérieures le côté chimique de la question et l'étude de l'hystérèse des ferromagnétiques contenus dans ces roches. La bibliographie comme l'historique ont été faits dans le même esprit ; on ne s'étonnera donc pas si j'ai omis de citer nombre de travaux secondaires, m'attachant surtout à dégager les étapes successives du point de vue qui domine ce travail.

De Humboldt à Melloni. — L'influence de masses rocheuses sur l'orientation de la boussole semble signalée pour la première fois par Joao de Castro dans l'île de Chaul au large de Bombay.

Jusqu'à la fin du xviii^e siècle les observations restèrent isolées et sans portée, ce n'est qu'en 1797 que Humboldt étudiant un sommet du Fichtelgebirge attira l'attention sur les propriétés remarquables de ce magnétisme.

Cette montagne était le Heidelberg. Elle s'élève au milieu d'un vaste plateau à la pente nord-ouest du Fichtelgebirge et est orientée du sud-ouest au nord-est comme les roches

primitives et intermédiaires de cette contrée. Elle est constituée de serpentines enclavées dans des schistes chloriteux et amphiboliques. Dans la chlorite, les parcelles de magnétite sont visibles à l'œil nu, tandis que dans les autres roches il faut pulvériser et extraire à l'aimant. Les strates sont parallèles à l'axe longitudinal de la montagne. Humboldt remarqua que le magnétisme n'était pas distribué dans ces roches de façon incoordonnée mais que les axes magnétiques étaient parallèles, tous les pôles nord se trouvant sur la pente sud-est et les pôles sud sur la pente nord-ouest.

A la suite de Humboldt de nombreux chercheurs se mirent à étudier ces roches aimantées, mais leurs résultats restèrent peu connus avant les travaux systématiques de Melloni sur les laves du Vésuve.

Les mémoires de A. Delesse (1849) valaient cependant d'être remarqués. Cet auteur prouva d'abord avec certitude qu'un grand nombre de roches éruptives nouvelles (laves, basaltes) sont susceptibles de prendre une aimantation permanente dans un champ magnétique suffisant et que cette aimantation jouit bien des propriétés habituelles, que par exemple on peut répéter sur ces substances l'expérience de l'aimant brisé... Dans les mémoires suivants il établit un catalogue général de ces roches suivi de leur « pouvoir magnétique » et développe une étude fort intéressante de l'aimantation permanente que peut prendre l'hématite, propriété qu'il montre être *spécifique* de cette substance et non attribuable à la magnétite incluse.

Or, malgré ces travaux divers les naturalistes continuaient à avoir communément l'opinion que les roches contenant des combinaisons du fer agissaient par aimantation temporaire non par aimantation permanente et cette idée était appuyée sur la difficulté que l'on avait à manifester des répulsions à la boussole, les forces dans les cas d'influence se réduisant presque toujours à une attraction comme dans le cas du fer doux.

On comprendra dès lors pourquoi Melloni (1853) a d'abord cherché à mettre hors de doute l'existence de cette aimantation permanente.

Il se rendit compte, en premier lieu, que l'attraction à petite distance ne prouvait rien, l'induction temporaire entre l'aiguille et la roche masquant alors l'aimantation permanente. Il trouva, en effet, des échantillons qui exerçant sur un pôle de boussole une répulsion à quelques centimètres fournissaient une attraction à quelques millimètres, et convaincu que ce phénomène secondaire avait masqué le principal à ses devanciers, il chercha à travailler le plus loin possible du barreau pour éviter cette induction mutuelle.

Il construisit dans ce but son *magnétoscope*, système astatique de deux longues aiguilles identiques, très éloignées l'une de l'autre pour que l'on puisse agir sur l'un des quatre pôles sans influencer les trois autres.

Il arriva, grâce à la sensibilité obtenue, à mettre en évidence le magnétisme permanent de 108 espèces de roches diverses (laves, basaltes, trachytes et roches voisines) provenant de nombreux pays d'Europe. Le point de vue des naturalistes était donc erroné et il insiste à plusieurs reprises sur ce que la quantité globale de substance attirable à l'aimant dans une roche, ne peut en aucun cas fournir l'influence sur le champ terrestre puisque c'est l'état *magnétique* non la quantité de substance qui joue un rôle.

Mais quelle est l'origine de l'aimantation permanente de ces roches? Melloni savait qu'un morceau d'acier incandescent brusquement plongé dans l'eau froide, s'aimante suivant le champ terrestre. Il fut amené à supposer que le même phénomène devait se reproduire pour les roches ignées et que c'était l'origine de leur aimantation permanente. Il confirma ce point de vue par les deux faits suivants :

1^o On peut prévoir, si cette hypothèse est exacte, que dans les coulées de laves récentes, la face supérieure sera sud et

l'action des fragments sur le magnétoscope, maximum pour une direction située dans le méridien magnétique et inclinée d'une soixantaine de degrés sur l'horizon. C'est ce qu'il vérifia en effet sur les laves du Vésuve et des champs phlégréens. Il constata d'ailleurs que les laves anciennes ont une intensité d'aimantation de même ordre que les nouvelles et que malgré l'influence du champ terrestre elles conservent avec ténacité leur état magnétique primitif.

2^o Puis ayant porté au rouge des fragments de lave et les ayant laissé refroidir, il vérifia qu'ils s'étaient effectivement aimantés suivant le champ terrestre, même après refroidissement très lent, conditions dans lesquelles le fragment d'acier ne s'aimante pas. Toutefois l'aimantation prise par refroidissement brusque est supérieure à celle prise par refroidissement lent.

Ainsi Melloni prouva de façon indubitable l'aimantation permanente des laves et montra qu'il fallait chercher dans l'induction terrestre l'origine de ce magnétisme.

Travaux de Folgheraiter. — Toutefois on pouvait se demander si les résultats établis par Melloni pour les laves du Vésuve s'étendaient aux autres roches magnétiques. La solution de cette question n'apparaît pas comme nécessairement positive puisqu'il existe des points singuliers dits « *punti distinti* » dont l'aimantation ne saurait être attribuée à l'induction terrestre. C'est cette généralisation que Folgheraiter se proposa de réaliser pour les roches du Latium en abordant successivement les trois points suivants :

- 1^o Magnétisme des roches en place ;
- 2^o Magnétisme d'échantillons prélevés de ces roches ;
- 3^o Rôle des actions chimiques pendant l'aimantation.

1^o *Roches en place.* — L'étude de ces aimantations se faisait en observant l'équilibre d'une aiguille aimantée au voisinage de la roche, en sorte qu'il convenait de distinguer trois parties dans cette aimantation :

- a) Le magnétisme permanent de la substance ;
- b) Le magnétisme temporaire induit par le champ terrestre actuel ;
- c) Le magnétisme dû à l'induction réciproque de l'aiguille et de la substance.

C'est à ce troisième point fondamental pour l'interprétation des mesures qu'est consacré son premier mémoire. On concevra combien cela était nécessaire si l'on se souvient que Melloni avait montré que :

« Pour une face de lave de même *polarité permanente* « qu'un certain pôle d'aiguille, il peut y avoir attraction « entre le pôle et la face à très *PETITE* distance (quelques « millimètres) du fait de l'induction du pôle sur la lave. »

Sans se placer à si petite distance, l'influence de l'aiguille sur la roche sera révélée par ce fait que deux aiguilles de moment magnétique différent placées au même point auront des positions d'équilibre différentes. Folgheraiter disposait d'une boussole de déclinaison permettant de lire la *minute* et munie d'une lunette pour repérer une direction fixe. Pour une position donnée de la boussole il substituait l'une à l'autre deux aiguilles ayant respectivement :

Longueur = 16,29 cm. 6 cm.

Moment = 538,1 c. g. s. 94,2 c. g. s.

Il conclut que si la perturbation produite par la roche ne dépasse pas 7°, les positions d'équilibre sont identiques à la *minute près*, et par suite l'induction réciproque est absolument négligeable ⁽¹⁾ :

Ayant alors étudié, avec cette même boussole, le magné-

(1) Il faut noter que si la perturbation dépasse 7°, il est bien improbable que le champ soit uniforme dans une sphère de 16 cm. de diamètre. Dès lors, la différence des positions d'équilibre révèle vraisemblablement la non-uniformité bien avant l'induction réciproque. La conclusion *négative* de FOLGHERAITER n'en subsiste pas moins, mais si l'on désirait de façon positive étudier cette induction on ne pourrait se contenter de cette méthode.

tismes des roches volcaniques du Latium, *il trouva sans exception un pôle sud à la partie supérieure des gisements un pôle nord à la partie inférieure*. D'où il conclut à une distribution systématique du magnétisme favorable à l'idée d'induction par la terre.

2° *Echantillons de prélèvement*. — Il étudie alors au magnétomètre le magnétisme permanent d'échantillons de roches variées détachés avec le plus grand soin de façon à n'avoir pas de heurts. Ces fragments avaient la forme de colonnettes de 9 à 16 cm. de long pesant de 100 g. à 1 000 g.

Pour éviter l'induction réciproque entre l'aiguille et la matière, il maintenait l'axe magnétique présumé de la substance aimantée, normal au plan vertical d'équilibre de l'aiguille tandis qu'il approchait cette substance du magnétomètre.

La même mesure faite après retournement de la colonnette mettait en évidence le magnétisme permanent et le magnétisme induit par la terre, ce dernier étant indépendant du retournement :

a) Tous les échantillons ont présenté un pôle sud à la partie supérieure ;

b) Le magnétisme induit est très petit par rapport au permanent pour la lave basaltine, le tuf, le spérone, la pouzzolane ;

c) Pour le *piperino* au contraire le magnétisme induit s'est montré très supérieur au magnétisme permanent qui d'ailleurs a disparu en 3 mois.

Ainsi, non seulement l'auteur confirme les résultats de Melloni savoir l'aimantation des laves par induction du champ terrestre durant leur refroidissement, mais il établit de plus que des roches formées à froid par agglomération de cendres volcaniques sont aussi susceptibles d'acquérir à la longue, peut-être au bout de siècles, un magnétisme permanent stable. C'est le cas des tufs et des pouzzolanes. Ce

magnétisme d'ailleurs a bien le sens exigé par l'induction terrestre exactement comme dans le cas des laves. A ces deux catégories s'ajoute la troisième piperino sans magnétisme rémanent stable et dont toute l'aimantation est temporaire et induite par le champ terrestre actuel.

3^o *Aimantation artificielle. Actions chimiques.* — Il restait à reproduire artificiellement l'aimantation. Melloni et Försteman l'avait déjà réalisée mais sans effectuer de mesures. Folgheraiter prit comme échantillons de petites colonnes dont il déterminait l'intensité d'aimantation. Il suspendait l'échantillon verticalement et le chauffait vers 800° dans une enveloppe d'amiante avec un Bunsen à 3 becs. Il laissait rougir une heure et refroidir deux, puis mesurait l'aimantation nouvelle.

Qualitativement l'aimantation se fait suivant le champ terrestre. Elle est *permanente*; après trois mois pendant lesquels l'échantillon est resté la tête en bas par rapport au champ, rien n'a changé. Cette aimantation permanente stable se manifeste non seulement dans la lave et le tuf, mais aussi dans les *piperini* qui, après cuisson, changent de teinte et ressemblent au *tuf*. Ces *piperini* se comportent donc très différemment suivant qu'ils sont cuits ou non.

Il était dès lors naturel de chercher la substance magnétique. Folgheraiter fit les deux séries d'expériences suivantes :

1^o Il choisissait des échantillons de roches qu'il divisait en deux morceaux :

L'un chauffé à 800° pendant une heure était ensuite pulvérisé. Puis on en extrayait les substances magnétiques à l'aide d'un gros aimant ordinaire.

L'autre de même poids était pulvérisé sans avoir été chauffé. Puis on effectuait la même extraction.

Pour les *piperini* et les *tufs* on trouve à peu près la même quantité de substance magnétique avant et après la cuisson. Le constituant principal est la magnétite.

Mais tandis que pour les *piperini* le poids de substance magnétique peut atteindre 14/1 000, pour le *tuf* il ne dépasse jamais 1,6/1 000. Or, les tufs sont en général beaucoup plus aimantés que les *piperini*.

Pour des *argiles* ne manifestant avant cuisson de magnétisme ni permanent ni temporaire, mais possédant après cuisson un fort magnétisme permanent, il n'a pas été possible d'extraire trace de magnétite, ni de substance attirable quelconque.

Il y a donc un composé de fer autre que la magnétite qui joue un rôle dans l'aimantation et qu'on ne peut extraire par triage magnétique.

2° Ayant privé des *piperini* et des tufs de leur magnétite, il agglomère les poudres restantes au silicate de potasse, forme deux cylindres et les laisse sécher. L'un d'eux est alors soumis à la cuisson.

Les poudres agglomérées pouvaient d'ailleurs provenir de matières crues ou déjà cuites : on obtenait des nombres de l'ordre des suivants :

	Cylindre avant cuisson		Cylindre après cuisson	
	Poudre crue	Poudre cuite	Poudre crue	Poudre cuite
Tuf.	2'5	2'5	35'	35'
Piperini . . .	0'0	0'5	5'	5'

Ainsi même en l'absence de magnétite la cuisson crée une forte aimantation permanente, mais de plus dans les cylindres avant cuisson se manifeste déjà une aimantation temporaire. Les *piperini* montrent de plus une différence de susceptibilité entre la poudre crue et la poudre cuite, ce qui tend à montrer que *l'action de la chaleur produit non seulement une réaimantation suivant le champ terrestre de substances magnétiques préexistantes, mais crée aussi des substances magnétiques nouvelles à partir d'autres qui ne l'étaient pas.*

Il mit ainsi en évidence le double rôle de la cuisson et arrêta là son étude des roches.

De 1895 à 1900 il poursuivit ses recherches sur l'aimantation des vases grecs et étrusques aboutissant à cette conclusion que l'inclinaison magnétique NÉGATIVE et faible vers le ^{vi}e siècle avant notre ère avait crû continuellement pour atteindre une soixantaine de degrés dans le ⁱer siècle. Nous ne pouvons que rappeler ici ce résultat curieux sur lequel nous reviendrons, le détail des méthodes d'étude de l'aimantation des terres cuites sortant du cadre de ce travail.

Travaux de Brunhes et David. — C'est vers 1900 que Brunhes et David commencèrent à étudier, au point de vue magnétique, les laves d'Auvergne et les argiles sous-jacentes.

Un fait semblait en effet se dégager des travaux de Folgheraiter sur les terres cuites, c'est l'extraordinaire stabilité de leur aimantation au cours du temps ; malgré les variations du champ, les influences atmosphériques, les chocs, cette aimantation semblait s'être maintenue invariable depuis la cuisson. Si une *stabilité* analogue se manifestait dans les laves on conçoit tout le parti qu'on pourrait en tirer puisque l'étude de leur aimantation fournirait non seulement l'inclinaison mais aussi la déclinaison que ne sauraient *donner* les poteries.

C'est donc cette stabilité que Brunhes se proposa d'abord d'étudier. Il trouva deux types de preuves, fondamentales pour l'objet de notre étude.

1^o L'étude des dalles de domite d'un temple de Mercure, effectuée par M. David, fournit la première. Ayant prélevé dans quatre dalles juxtaposées des cubes que l'on observait au magnétomètre, l'auteur découvrit :

- a) Que chaque dalle est aimantée uniformément ;
- b) Que d'une dalle à l'autre la déclinaison varie de façon quelconque ;

c) Que l'inclinaison au contraire est constante pour toutes les dalles au *signe près*.

Pour l'une d'elles en effet l'aimantation est en dessus ($- 54^\circ$), la face supérieure est nord. Ainsi cette dalle retournée pendant 2000 ans dans le champ terrestre a conservé sa direction d'aimantation identique aux autres, donc invariable et c'est un premier exemple de stabilité.

2° L'étude des argiles cuites par des coulées. Ces argiles sous l'influence de la chaleur sont devenues de la brique friable présentant une aimantation, qu'il trouva sensiblement parallèle à celle de la lave. Comme pour la terre cuite, la stabilité est prouvée par les travaux de Folgheraiter; il résulte de ce parallélisme que la roche éruptive a elle-même une stabilité très grande d'aimantation. Voici des exemples :

1° A Royat une couche d'argile est comprise entre deux couches de basaltes.

A 80 cm. de la couche supérieure l'argile change de teinte devient rouge et à mesure qu'on s'élève ressemble de plus en plus à de la brique. Cette argile qui s'était déposée sur le basalte inférieur a été cuite par la coulée nouvelle. Elle présente comme constantes magnétiques :

$$\text{Déclinaison} = 50^\circ \text{ occidentaux}$$

$$\text{Inclinaison} = + 70^\circ.$$

Or, tandis que le basalte supérieur a une aimantation à peu près parallèle, le basalte inférieur a une déclinaison identique à la déclinaison actuelle et une inclinaison de 60° .

2° A Beaumont, exemple semblable :

$$\text{Déclinaison} = \text{quelques degrés orientaux}$$

$$\text{Inclinaison} = 58^\circ.$$

3° A Pontfarcin (basalte des plateaux), même parallélisme mais la face supérieure est *nord*. Comme il n'y a pas pu avoir retournement puisque l'argile cuite serait alors sur le basalte, il faut bien admettre avec Folgheraiter que l'inclinaison à certaines époques a été négative en Europe.

Cette variété de résultats est fort intéressante, elle montre tout le parti qu'il est possible de tirer des constantes magnétiques pour différencier chronologiquement les coulées.

Remarque. — Voici la technique utilisée par Brunhes :

On taillait sur place un plan horizontal au niveau et une face verticale au fil à plomb, parallèle ou normale à la direction de la boussole qui fournissait le seul repérage de direction. Puis on détachait le bloc au burin et l'on achevait de le tailler en cube au laboratoire.

Pour étudier son aimantation on le plaçait dans la première position de Gauss à quelques centimètres du barreau du déclinomètre Mascart. On vérifiait le centrage en faisant tourner le bloc autour de son axe de symétrie passant par le barreau, l'indication du magnétomètre devait rester invariable. On notait alors le déplacement du spot. Puis on tournait de 180° et l'on notait le déplacement nouveau. Il devait être égal et de signe contraire au précédent pour la garantie d'uniformité d'aimantation, sans cela le bloc était rejeté. Ce déplacement étant pris comme mesure de la composante du *moment magnétique* suivant la normale à la face, il suffit de répéter cette opération pour les trois directions rectangulaires ; on aura ainsi la direction du moment dans l'espace, donc la déclinaison et l'inclinaison. La comparaison avec un barreau aimanté de moment connu peut même fournir l'intensité d'aimantation.

Notons que pour la domite du Puy de Dôme, Brunhes trouva une composante verticale :

$$J = 27 \cdot 10^{-4} \text{ C. G. S.}$$

Nous reviendrons sur cette méthode un peu plus loin, et nous parlerons à propos du champ terrestre en terrain volcanique d'un autre travail du même auteur sur l'interprétation des anomalies du champ terrestre au sommet du Puy de Dôme.

Plus récemment M. P. Mercanton étudia à l'aide d'un magnétomètre astatique très sensible, des échantillons de basaltes prélevés au cours d'une expédition suisse tant au Spitzberg qu'au Groenland et provenant de blocs diaclasés naturellement dans un plan horizontal. Les résultats furent

discordants, les uns fournissant une inclinaison boréale, les autres australe. Leur aimantation était d'ailleurs loin d'être uniforme. Les deux meilleurs fournissaient comme intensité d'aimantation 40 et 60.10^{-4} C. G. S., ce qui est bien de l'ordre de grandeur des aimantations centrales des laves de l'Etna. Dans des travaux antérieurs sur des poteries lacustres de 15 siècles environ avant notre ère, il avait trouvé une inclinaison fortement positive, ce qui sans infirmer le résultat de Folgheraiter, puisqu'il s'agissait d'époques assez éloignées du ix^e siècle, ne le confirmait pas non plus.

De ces divers travaux se dégagent donc les résultats généraux suivants pour les roches éruptives provenant de la solidification d'un magma liquide :

1^o Les laves pendant leur refroidissement s'aimantent suivant le champ terrestre et conservent cette aimantation invariable pendant de longues périodes ;

2^o Leur intensité d'aimantation est d'autant plus grande que le refroidissement est plus brusque ;

3^o L'induction temporaire actuelle due au champ terrestre est *négligeable* vis-à-vis de l'aimantation rémanente.

Et comme résultats particuliers :

1^o L'existence probable d'une inclinaison négative dans notre hémisphère à certaines époques ;

2^o La variation régulièrement croissante de l'inclinaison de 0° à 60° dans les 8 siècles antérieurs à notre ère.

Les résultats généraux semblent les plus sûrs ; une courbe d'inclinaison distante de 15 siècles des mesures directes peut laisser subsister un certain doute dans l'esprit. Il semble plus profitable de remonter le cours du temps à partir de l'époque extrême où l'orientation du champ terrestre est connue, puis d'arriver à raccorder les résultats de Folgheraiter aux résultats modernes du milieu du xvi^e siècle. De la sorte les portions de courbes certaines garantiraient l'allure de celles qui suivraient. C'est une partie de ce programme que je me suis attaché à réaliser dans le présent mémoire,

orientation du champ terrestre en Sicile du ^{xii}e siècle à nos jours, en utilisant l'aimantation des laves de l'Etna, qui n'avaient pas encore été étudiées. L'intervalle vraiment inconnu pourra paraître étroit, il correspond à la boucle orientale de la déclinaison : j'ai préféré multiplier les résultats dans un intervalle serré de façon à établir solidement une portion de courbe, plutôt que de fournir des résultats incertains dans un large intervalle. La chronologie des coulées de l'Etna m'a également imposé ce cadre : rien n'est connu pendant toute la période des invasions et le début du moyen âge ; la première coulée de date certaine après celle de 256 est celle de 1284. J'ai donc préféré laisser la période grecque et romaine pour une autre étude.

La critique des hypothèses qui sont à la base du travail et des méthodes de mesures utilisées forme également une partie importante du mémoire.

Toutes les questions relatives à la nature de cette aimantation et des substances magnétiques incluses ont été systématiquement écartées. J'ai limité l'étude à ce problème particulier :

Dans quelle mesure l'aimantation d'échantillons de laves de dates déterminées permet-elle de connaître le champ terrestre inducteur à l'époque de la solidification et m'appuyant sur les conclusions, j'ai cherché l'orientation de ce champ en Sicile du ^{xii}e siècle à nos jours.

CHAPITRE II

Chronologie et topographie des coulées.

Bibliographie. — Pour la chronologie et la topographie des coulées de l'Etna utilisées dans ce travail on pourra se reporter à un article publié à la *Revue Générale des Sciences* ⁽¹⁾ sur les coulées anciennes de l'Etna, indiquant pour l'étude magnétique du massif un plan dont on s'est efforcé de réaliser une partie dans cette publication. Assez souvent j'emprunte à cet article les paragraphes nécessaires sans les citer.

La source des documents est le volumineux ouvrage

Der Aetna de A. VON LASSAULX (Engelman, Leipzig, 1880), 2 vol. in 4°, publié d'après les manuscrits de SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN (bibliographie très étendue).

Les cartes utilisées sont :

1° *Carta volcanologica et topografica dell Etna* de E. Chaix (1/100.000^e), publiée à Genève au comptoir minéralogique et géologique suisse ;

2° *La Carte d'Etat-Major* (Edition au 1/25.000, 1/50.000, 1/100.000).

Elles m'ont permis plus ou moins agrandies de construire les cartes du texte où j'ai reporté des indications personnelles sur les accidents de terrain, les repères et les points de prélèvements.

Je rappelle un certain nombre de termes courants.

Dagala : îlot de vieille lave entouré par un courant plus récent ;

(1) R. CHEVALLIER, Les coulées anciennes de l'Etna, *R. G. des Sc.*, 30 avril 1924, p. 230.

Ghiaia : argile ou tuf cuit par une coulée et ayant pris des teintes variant du rouge au jaune ; employé dans la construction ;

Pomicia : lave poreuse et légère comme de la ponce ;

Poggio ou *poio* : point un peu élevé au-dessus de la plaine ;

Sciarra : nom général des coulées de lave. Quand elles sont encore dépourvues de végétation, que leur surface a l'aspect brûlé et chaotique d'un courant récent on les appelle *Sciarra viva*.

Nomenclature. — J'ai rapporté en 2 voyages une centaine de blocs prélevés dans une dizaine de coulées.

1^o Ceux de 1921 (sept., oct., nov.), étaient numérotés de 1 à 29 en chiffres *romains*.

Chaque bloc portait son numéro peint en *rouge*.

Ceux correspondant aux chiffres 3, 8, 16, 19 ont été brisés et laissés sur le terrain.

J'ai désigné dans les résultats ces blocs de 1921 par l'indice 1 (18₁).

2^o Ceux de 1922 (sept., oct., nov.) étaient numérotés de 1 à 65 en chiffres *arabes*.

Chaque bloc portait son numéro peint en *bleu*. Donc pas de confusion possible entre les deux années.

Ceux correspondant aux chiffres 1, 25, 28 ont été laissés sur le terrain.

Ces blocs de 1922 sont désignés dans les résultats par des numéros sans indices.

Lave de 1911.

Cette lave n'est pas figurée sur la carte vulcanologique de Chaix qui est antérieure à l'éruption. La carte qui suit (fig. 1) n'est qu'un schéma grossier, destiné à montrer les points de prélèvement.

La coulée est venue couper la route entre Castiglione et Solichiata; elle avait complètement détruit la voie ferrée de la Circum-etnea précisément avant d'arriver à la station de Solichiata.

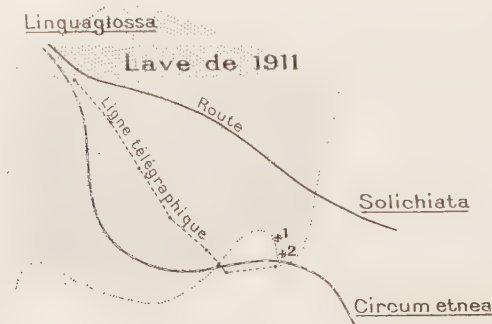


Fig. 1.

La route comme la voie refaite passent *sur* la coulée et ne l'entament fortement en aucun point; il a donc fallu se contenter de lave superficielle, car on ne trouve naturellement pas de carrières dans une lave aussi récente.

J'ai profité d'un point entamé par les ouvriers de la voie, pour y puiser les pavés nécessaires à la construction des murs destinés à maintenir la terre des remblais.

En 1 j'ai recueilli 25₁ 26₁ côte à côte.

En 2 à l'extrême pointe j'ai taillé 27₁ qui est plus homogène que les 2 autres.

REMARQUE. — C'est sur cette lave vieille de 10 ans que j'ai observé pour la première fois un phénomène qui m'avait souvent été signalé. Il avait plu pendant plusieurs jours et ce matin-là, premier jour de soleil, il se dégageait de certaines régions de la lave des torrents de vapeur d'eau que l'on aurait dit issus d'une chaudière, en sorte que, d'un point élevé, la sciarra paraissait en feu. M'étant approché d'un point de dégagement je constatai que la lave était brûlante

et que la vapeur elle-même très chaude était absolument sans odeur. Une poudre blanche recouvrait la lave au voisinage du point de dégagement. Il s'agit très probablement de la décomposition par l'eau de *siliciures* ou composés analogues, inclus dans la lave. Cette réaction chimique est vraisemblablement la cause du dégagement de chaleur et non comme on l'a souvent dit une température interne qui se serait maintenue élevée depuis la solidification par le seul jeu de causes physiques comme la faible conductibilité ou la cristallisation lente.

Lave de 1669.

Cette coulée issue des Monti Rossi se divise en trois bras dont le plus long vint détruire le sud de Catane (fig. 2) et



Catane (Partie Sud)

Fig. 2.

pénétra dans la mer y jetant un cap de plus d'un kilomètre, après un trajet de plus de quinze.

C'est à Catane seulement que j'ai prélevé cette lave en 1921.

Au point (1) au bas de la Via Belfiore se trouve une immense carrière où j'ai prélevé les blocs 1₁ et 2₁.

Au point (2) non loin de la plage se trouve une seconde carrière plus petite que la précédente où j'ai recueilli 4₁, 28₁, 29₁.

Tous ces blocs ayant donné des résultats concordants, je n'en n'ai pas pris d'autres en 1922.

Je crois comme je l'ai dit ailleurs qu'une étude systématique de cette lave sur tout son parcours serait fort utile.

Lave de 1566.

Ce courant issu des quatre petits cratères dits Bocche di S. Egidio vient passer au sud de Linguaglossa où il recouvre

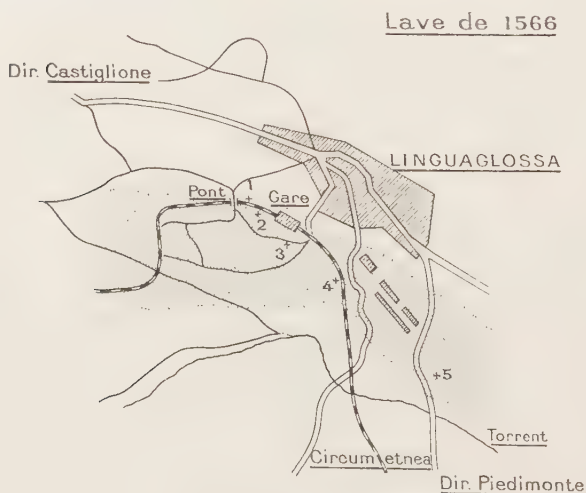


Fig. 3.

un courant plus vieux sur lequel est bâti le reste de la ville. De là il coupe la route de Piedimonte sans dépasser au sud le torrent figuré sur la carte qui lui-même a taillé son lit dans des laves plus antiques. Il s'arrête peu après à une ligne de collines commençant la zone des terrains non éruptifs.

Si partant de la gare on suit la ligne de la Circumetnea, en se dirigeant vers Castiglione (fig. 3) on rencontre après deux cents mètres, un pont qui surplombe la ligne et qui est

un repère commode. Au delà de ce pont la voie ferrée passe sur la sciarra qui s'étend couverte de cactus des deux côtés de la voie, mais en aucun point la coulée n'est entamée, en sorte qu'il n'a pas été possible de prélever d'échantillons de ce côté.

Peu avant d'arriver au pont, quand on vient de quitter la gare, on trouve du côté droit un banc superbe de 2 m. 50 de hauteur uniforme et de 30 mètres environ de longueur que j'ai désigné sur la carte par (1) et où j'ai prélevé les blocs 20₁, 21₁, 22₁. Ce massif taillé pour laisser passage à la voie semblait offrir toutes les garanties de conservation du plan horizontal; il n'avait certainement subi aucun bouleversement depuis sa solidification.

Mais la carte vulcanologique indiquant en ce point la limite extrême de la coulée il était difficile de savoir s'il s'agissait là d'un îlot de lave ancienne ayant arrêté le courant de 1566 ou de ce courant lui-même. L'observation d'une carrière placée derrière ce massif n'a rien pu m'apprendre de certain. L'étude magnétique de ces blocs m'ayant fourni des déclinaisons fort éloignées de la moyenne de la coulée, je les ai écartés comme *douteux*.

Le point (2) où j'ai pris les blocs 23₁ et 24₁ est plus proche de la gare et du côté gauche.

Ces cinq échantillons furent taillés en 1921 les suivants en 1922.

Tout auprès de la gare au point noté (3) une entreprise anglaise a monté la tête de ligne d'une sorte de funiculaire destiné à descendre le bois de la montagne. Pour construire les murs de la station contenant les dynamos on a utilisé la lave tirée sur place d'une tranchée parallèle au chemin passant par (3) et aboutissant au pont. C'est en ce point que j'ai taillé les blocs 35, 36, 37.

Plus loin en suivant la voie, non loin de la limite sud de la coulée, j'ai trouvé dans un petit groupe de maisons, une étroite carrière de cultivateur entourée d'une enclôture ne

permettant pas de voir cette carrière de la ligne. C'est là que j'ai prélevé les blocs 38, 39, 40 (L'indication du point (4) sur la carte n'est qu'approximative).

Le bloc 38 était extraordinairement *dur*, 39 et 40 l'étaient moins. Cette dureté très différente de celle des blocs (3) m'avait fait douter de l'origine de cette lave. On verra que les constantes magnétiques s'accordent au contraire fort bien avec celles des autres échantillons.

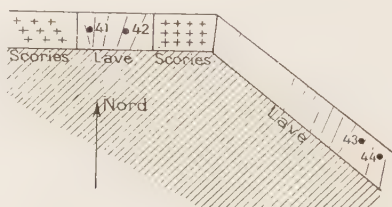


Fig. 4.

Pour atteindre le point (5) le mieux est de suivre la route de Linguaglossa à Piedimonte. Peu avant d'arriver au torrent, on voit cette immense carrière du côté gauche. C'est le meilleur des points où j'ai recueilli la lave de 1566.

On y voit un banc de lave énorme reposant sur la *ghiaia* rouge ou jaune d'or. En certain point sa couleur est si pure et son grain est si fin qu'elle ressemble à du vermillon. Cette *ghiaia* repose sur un banc de sable jaune et malgré que l'on ait creusé jusqu'à *quatre* et *cinq* mètres on n'a pas trouvé la lave antique, si toutefois il en existe une au-dessous.

La paroi, haute de 8 à 10 mètres, a l'aspect de la figure 4 mais la partie représentée vide est couverte de collines de *pomicia*, résidus dont on ne sait comment se débarrasser.

41 et 42 ont été pris en pleine lave homogène au milieu du banc qui peut avoir 50 mètres entre les scories.

42 l'un des blocs les plus centraux fut prélevé à une pro-

fondeur d'au moins 8 mètres et à une hauteur de 3 mètres au-dessus de la base de la coulée.

43 et 44 ont été pris au contraire à 2 m. 50 sous la surface et à 7 ou 8 mètres au-dessus de la surface inférieure, on travaillait sur un tas élevé de déblais. Cette région de la lave était poreuse.

La coulée de 1381.

Ce courant est issu de deux sources, les bouches de Santa Maria dei Pomiciari sorties de petites collines de pomicia distribuées sur une fente dont la direction passe par le centre de l'Etna, et le Cafolo longue fente de 3500 mètres de long sur 6 à 8 mètres de large présentant une orientation parallèle.

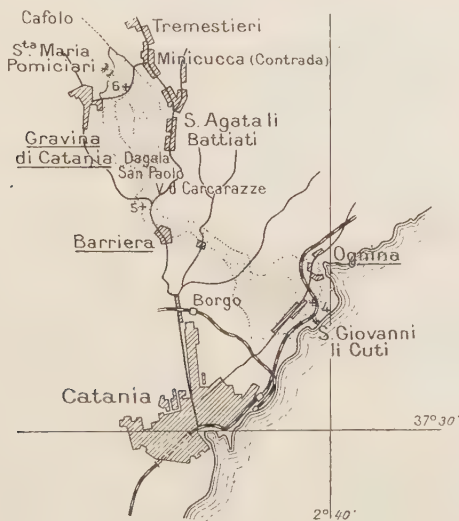


Fig. 5.

Le courant résultant de la soudure de la lave issue de ces deux sources vient couper la route de Gravina à Mimicucca

(Concezione sur la carte d'état-major) à peu près sur toute sa largeur (fig. 5).

C'est au point où cette route fait un coude et marqué d'une croix (6) sur la carte que j'ai prélevé les échantillons 9, 10, 11. Dans une carrière excellente présentant un banc de 7 mètres de profondeur ayant toutes les garanties de solidification en place.

9 et 10 furent pris dans la partie homogène ce dernier particulièrement avait au moins 4 mètres de lave au-dessus et 3 mètres au-dessous, il faisait partie d'un bloc énorme (5 à 6 m³) qui tenait absolument à la masse.

11 fut prélevé dans la lave poreuse en un autre point de la carrière.

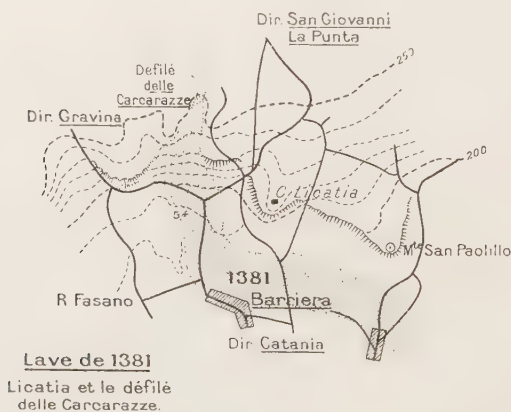


Fig. 6.

Après avoir franchi la route le courant forme la dagala de San Paolo puis se resserre et vient se précipiter dans un étroit défilé dit *delle Carcarazze* ou la coulée n'a pas plus de 25 mètres de largeur. Les lignes de niveau de la carte d'état-major que nous avons reproduites (fig. 6) montrent bien l'allure du terrain. A la sortie du défilé la coulée s'élargit et

franchit la terrasse de Licatia puis tournant vers l'ouest longe la terrasse en passant sous la partie nord de Barriera.

La pente abrupte de cette terrasse terminée à l'ouest par le mont S. Paolillo se voit fort bien sur la carte; elle est formée par une couche de tuf surmontant la creta (argile) et les ciattoli (cailloux roulés) pliocènes. L'aspect sédimentaire de ce bord de terrasse frappe l'observateur qui se trouve à la bifurcation des routes de Gravina et San Giovanni la Punta. Habitué aux tranchées taillées dans les laves, il est surpris de trouver au milieu des terrains éruptifs cette paroi de tuf très tendre, friable, dont la couleur contraste avec l'aspect *noir* et *brûlé* de la sciarra qui franchit la colline devant lui.

C'est un peu au-dessous de cette bifurcation au point noté (5) que j'ai prélevé les blocs 12, 13 et 14, dans une excellente carrière à la sortie des maisons.

La surface supérieure de la sciarra en ce point est très régulière et couverte de scories. On peut évaluer à 1 mètre l'épaisseur des scories, 1 mètre celle de la lave poreuse, 6 mètres celle de la lave homogène.

La coulée recouvre une lave antique avec une couche intermédiaire de *ghiaia* comme sur tout le trajet du courant de 1381.

12 et 14 ont été prélevés dans des régions un peu poreuses. 13 dans la masse homogène.

Au delà de Barriera le courant s'élargit considérablement et vient jusqu'à la mer entre Ognina et San Giovanni li Cuti. Au voisinage de la côte il est entremêlé avec la Sciarra de Rotolo et il n'est pas toujours facile si l'on en croit les cartes de distinguer les deux. Cela est compréhensible si l'on se souvient que Sciuto-Patti a délimité les courants de Crocefisso et de Rotolo en utilisant surtout la différence de niveaux des coulées et leur aspect superficiel.

J'ai agrandi la carte de Chaix (fig. 8) en admettant qu'elle soit exacte dans le détail, on peut voir combien elle diffère de celle de Sciuto Patti (fig. 7). Avec la première tous mes

prélèvements auraient été faits sur la lave de 1381, avec la seconde sur la Sciarra de Rotolo dont l'époque est inconnue, voisine de 1381 suivant S. Patti, préhistorique suivant Sartorius.

Lave de 1381 d'après Sciuto-Patti



Fig. 7.

Personnellement voici ce que j'ai observé :

1^o J'ai parcouru la coulée dans tous les sens et l'ai trouvée par son allure générale et l'aspect de sa lave en tout point conforme à la carte de Chaix, sans pouvoir par exemple saisir la limite *ab* entre la lave de Crocefisso et celle de Rotolo.

2^o J'ai trouvé des pointements de lave ancienne en divers endroits, par exemple dans les deux carrières indiquées sur la carte et surtout au voisinage de la mer dans la région du belvédère où elle présente un aspect bien connu, mais rare dans les régions périphériques de l'Etna..

C'est l'aspect lisse à bourrelets juxtaposés qui s'oppose à l'aspect rugueux scoriacé, cahotique, habituel, en particulier de la portion de sciarra où les échantillons ont été prélevés.

3^o Les mesures magnétiques ne différencient en rien ces blocs de ceux de Gravina ou de Barriera.

4^o J'ai appris récemment, que M. S. Marano, élève du

une usine de produits chimiques aboutissant à la voie ferrée, du côté gauche diverses carrières où je n'ai pas trouvé de points commodes de prélèvement.

Au fond la voie ferrée est taillée dans la coulée, comme les hachures l'indiquent sur la carte. Du côté de la carrière dans la région (1) j'ai taillé 2 blocs : 6₁ et 7₁.

Ce dernier faisait partie d'une table énorme très inclinée de l'est à l'ouest et qui avait vraisemblablement basculé après solidification. Je l'ai constaté lors de mon second voyage et l'ai écarté des moyennes.

On peut au point (1) franchir aisément le mur qui borde la ligne et passer sur la voie que l'on suivra en se dirigeant vers Ognina. A mi-chemin entre le passage à niveau A et le point (1) dans le massif qui borde la voie du côté droit j'ai taillé le bloc 5'₁ dans une masse un peu poreuse.

Au passage à niveau, on prendra le chemin qui mène au belvédère et on gagnera le point (3) qui est au bas du massif bordant la ligne sur la paroi regardant la mer. C'est là que j'ai taillé les échantillons 1, 2, 3, 4, 5, 2 et 5 côte à côte comme on le verra au sujet de l'uniformité. Le bloc (1) fut brisé en le détachant.

Cette paroi peut avoir 5 mètres dans sa plus grande hauteur. Elle se trouve sur une propriété privée.

Le chemin du belvédère porte plusieurs allées latérales dont une mène à la carrière (4) très voisine de la mer, d'où l'on voit à angle droit la direction de l'Etna et celle de la cheminée d'usine figurée sur la carte. Le banc exploité (le plus à gauche en regardant l'ouest) offre toutes les garanties de solidification sans bouleversement. Sa surface supérieure est tout à fait horizontale. La profondeur moyenne est de 6 mètres. La coulée repose sur la *ghiaia* et une lave antique.

J'ai prélevé en ce point les blocs 6, 7, 8 à 1 mètre en moyenne au-dessus du sol.

La coulée de 1329.

Cette coulée est constituée par deux éruptions distinctes dont on ne peut distinguer les laves du moins dans l'ensemble de la sciarra.

L'un des courants longeant le mont Ilici (fig. 9) vient passer par Fleri qui est construit sur cette lave. C'est lui que Nicolo Speziale (*Rerum Sicularum*, lib. 8, cap. II) observa de l'église de San Giovanni Paparometo à 650 mètres à l'ouest de Fleri, ce qui nous permet d'affirmer que ce courant est de 1329.

L'autre, issu du Monte Rosso, est de 1333.

Ce courant atteint la mer entre Puzillo et Lo Stazzo. Sa limite sud a couvert dans cette région la lave de Monte Urna. Mais dans la majeure partie de son cours, la tradition prétend qu'il a coulé comme à Catane sur un sous-sol d'argile à la surface duquel il y avait autrefois un grand nombre de sources.



Fig. 9. — Lave de 1329.

J'ai prélevé des échantillons sur toute la longueur de la coulée.

1. A Fleri. — En venant de Zafferana on dépasse l'église de Fleri. Au voisinage de l'« ufficio dei biglietti » on prend

une petite rue à gauche. Au bout de 100 mètres on trouve sur la gauche une carrière entourée de murs où j'ai taillé les blocs 31 et 32 dans un massif de cinq mètres environ de hauteur, dans une masse très homogène.

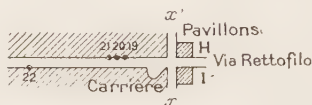


Fig. 10.

2. *A Linera*. — La route d'Acireale (fig. 10) dite Via Rettofilo coupe la coulée suivant une tranchée profonde de 5 mètres qui fournit de très bons points de prélèvement. Cette tranchée est, au milieu du village même, constitué presque uniquement de petites maisons en bois, construites par le génie: les édifices de pierre ont été détruits plusieurs fois par les tremblements de terre fréquents dans la région. Le prolongement de la tranchée passe entre les pavillons H et I.

En nous dirigeant vers Aci, j'ai prélevé à 15 mètres de la route XX', du côté droit, les 3 blocs 19, 20, 21. L'aspect détaillé de la paroi au voisinage des points de prélèvement est dessiné au ch. VII.

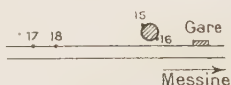


Fig. 11.

Trente mètres au delà, du côté gauche, j'ai taillé le bloc 22.

3. *A la Guardia-Mangano*. — Partons de la gare et suivons la ligne dans la direction d'Aci (fig. 11). A 50 mètres à droite, nous trouvons une carrière en forme de cuvette où j'ai taillé les blocs 15 et 16. La sciarra est très inclinée en ce point en sorte qu'il est difficile de parler de profondeur, mais les deux blocs se trouvaient dans la partie homogène.

En s'éloignant de la ligne, derrière cette carrière, on en trouve plusieurs autres que je n'ai pas utilisées.

Suivant la ligne au contraire vers Aci, on trouve à 300 mètres de la gare du côté droit un petit massif qui paraît solidifié sans bouleversement. J'y ai taillé le bloc 18 et un peu plus loin dans un petit massif semblable poreux mais à garanties plus limitées j'ai prélevé 17.

4. *A Lo Stazzo*. — On se rend à la brèche immense, de plus de 200 mètres de long, où l'on a puisé la pierre pour le port de *Riposto*. Elle aboutit à une petite route (fig. 12); de là on voit aussitôt sur le côté opposé deux petites car-

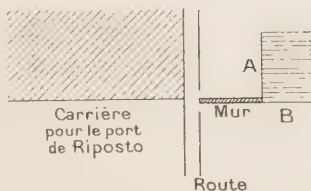


Fig. 12.

rières A et B séparées par un mur et ouvertes sur la route.

C'est en A que j'ai prélevé les échantillons 33 et 34. Je m'étais rendu compte sur le terrain que ce massif était aimanté anormalement. Des fragments de cette lave avaient une action nette sur la boussole.

Les blocs rapportés ont une aimantation considérable. Leur constitution cristalline est très différente de celle des autres échantillons de 1329. Ils contiennent de grandes plaques de plagioclase et ont un aspect fréquent dans les laves préhistoriques. Peut-être appartiennent-ils à un îlot de la lave de Monte Urna qui présente souvent aussi des aimantations considérables et qui est précisément couverte par le courant de 1329 dans cette région.

Ils ont été écartés des moyennes.

Sciarra de Femina Morta (1284).

Historique. — Tous les auteurs rapprochent cette éruption de la mort de Charles d'Anjou qui eut lieu le 7 janvier

1285 de sorte que l'éruption arriva dans les premiers jours de l'année.

On trouve, par exemple, dans Nicolo Speziale :

« La fin de ce roi fut douloureuse, tandis que le début de son règne s'était écoulé dans la joie, aussi sa mort fut-elle marquée par un signe. L'Etna en ce jour fut secoué violemment et jeta un courant de lave du côté est du massif, courant qui ayant suivi la pente de la montagne contourna d'une manière étrange l'église de S. Stefano en Heramum. Il ne se heurta cependant à rien et jusqu'à nos jours il paraît extraordinaire que cette église ait été sauvée ».

(*Rerum Sicularum* libri octo, I, Cap. XXIX).

Topographie. — Ce courant prend naissance dans la Valle del Bove au voisinage de Poio di femina morta. Il est couvert en partie par la lave de 1852. Il coupe la route de Zafferana à Milo entre ces deux localités, la limite sud est à peu près tangente à Ballo, la limite supérieure passe à environ 1 km. 5 plus au nord (fig. 13). La partie du Bois Nicolosi figurée sur la carte se trouve sur le territoire de cette lave. Peu après avoir coupé la route la coulée se divise en trois langues étroites dont deux sont seulement amorcées sur notre carte.

La plus au nord passant par Monacella vient jusqu'au voisinage de Macchia.

La seconde plus courte finit entre Dagala et Santa Venerina.

La troisième s'étend sur 200 mètres au sud-est de Cancelliere.

Ces limites d'ailleurs telles que les donnent les cartes ne sont certainement qu'approchées. Si de la route de Zafferana à Milo, on regarde l'emplacement du courant tel que nous l'avons indiqué, on voit une immense étendue de vignes où il est impossible de distinguer trace de sciarra. On peut alors se demander comment les bords de la coulée ont pu être déterminés; c'est que la transformation en vigne est tout à fait récente. En 1840-1843 quand Sartorius fit sa première carte,

le courant de 1284 était beaucoup plus facile à reconnaître ; c'est dans la suite que sous la culture de la vigne, il a complètement disparu ; en maints endroits la terre végétale atteint plus d'un mètre de profondeur.

Cette lave est très difficile à travailler. Elle n'a pas de *lettera* et ressemble à un bois noueux qui fend en des points imprévisibles et suivant des surfaces compliquées. Aussi n'est-elle pas utilisée dans la construction, d'où impossibilité d'en trouver des carrières profondes ⁽¹⁾. Trois points de prélèvement sur quatre ont donc été superficiels. Il faut utiliser les petites carrières à fleur de terre (*perrera* en sicilien) d'où les propriétaires de vignes extraient la pierre pour les murs de soutènement.



Fig. 13.

Points de prélèvement. — Ils sont figurés sur la carte (fig. 13) par des croix accompagnées des chiffres 1, 2, 3, 4. Je

⁽¹⁾ La route non plus ne présente pas de tranchées, à peine entame-t-elle légèrement la sciarra en deux ou trois endroits.

suis retourné sur cette coulée à mon second voyage en 1922.

En 1921 j'ai travaillé en (1) et (2).

En 1922 en (3) et (4).

La latitude moyenne de tous ces points était $37^{\circ}42'$.

1° Quand on sort de Zafferana et qu'on se dirige vers Milo, on coupe d'abord le torrent en passant au voisinage de la fontaine qui fournit à Zafferana son eau potable. On entre alors dans Ballo, on croise plusieurs chemins et l'on arrive au point où la route tourne très brusquement; noter que l'on ne se rend pas compte de ce coude sur la carte. On commence dans cette région à voir la lave affleurer sur les bords de la route. On est déjà sur la sciarra de 1284.

Suivant la route plus avant, on arrive en (1) dans une région où la lave est nettement entamée. Elle forme du côté gauche la base d'un mur qui maintient la terre d'une vigne attenant à une maison. La chaussée se trouve en ce point à deux mètres en contre-bas.

C'est là sur la route même qu'ont été taillés en 1921 les blocs 14₁, 15₁, 16₁, dans un espace de 10 mètres au plus. Le bloc 16₁ s'est rompu quand on l'a détaché.

2° Un peu plus loin (200 m.) du côté *droit* se trouve le point (3) à l'intérieur d'une propriété d'un avocat d'Acireale, et à 100 mètres environ de la route. C'est une carrière superficielle de lave très poreuse.

On y tailla, en 1922, les blocs 23, 24, 25.

23 était immédiatement sous la couche de terre qui recouvre la coulée.

24 à 50 centimètres au-dessous.

25 fut brisé et laissé sur le terrain.

3° Poursuivant la route vers Milo, nous arrivons au coude *B* ou commence le bois Nicolosi, du côté droit un sentier *BC* se détache de la route et descend en pente raide entre deux murs. On est sur le flanc d'une petite colline de lave et la sciarra perce la terre en de multiples points. Bientôt on voit du côté droit un bois de châtaigniers et immédiate-

ment avant à flanc de coteau une petite carrière privée ⁽¹⁾.

Là on tailla, en 1921, les blocs 17₁, 18₁, 19₁ dont le dernier s'est brisé en se détachant. La distance extrême des blocs ne dépassait pas 10 mètres.

4^o Revenons sur nos pas jusqu'à la route de Milo et pénétrons plus avant dans le bois Nicolosi. Nous trouvons bientôt du côté gauche, dans le bois même, mais à 10 mètres de la route, la carrière la plus profonde de la contrée. Je n'ai pas pu repérer exactement sa position en sorte que la croix n'indique qu'un point approximatif.

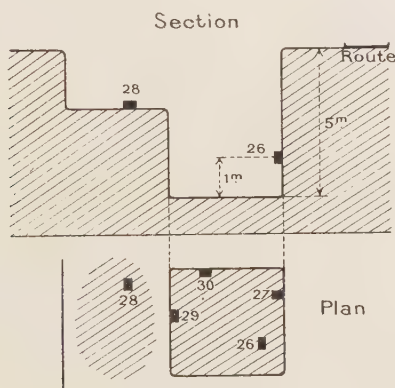


Fig. 14.

La lave en ce point était bien homogène mais *noueuse*.

En 1922 on a taillé 5 blocs en ce point 26, 27, 28, 29 et 30, 4 ont été brisés et un laissé sur le terrain (28). Les brisés ont été emportés en fragments.

La disposition des blocs est figurée ci-dessus (fig. 14).

La carrière avait environ 5 mètres de profondeur.

(1) Cette propriété appartenait au secrétaire de la mairie de Zafferana, Salvatore GIARUSSO, qui m'a prodigué avec son fils Angelo la plus charmante hospitalité. Je tiens ici à l'en remercier vivement.

Laves présumées de 1169.

1^o **Courant de la Sona.** — Cette coulée s'étend côte à côte avec celle de Monte Arso sur le versant sud-ouest du massif entre Licodia et Belpasso. La carte Chaix donne leur limite avec précision, je la reproduis sur la carte de ce paragraphe (fig. 15).



Fig. 15. — Lave de la Sona.

L'aqueduc de Marcellus qui conduisait à Catane l'eau d'une source de Licodià, traverse la contrée et donne un moyen de distinguer l'âge de ces deux coulées. Il commence très au-dessous de la terrasse sur laquelle repose Licodia passe sur la lave de M. Arso et bientôt est coupé par la route. Avec quelques interruptions on peut le suivre sur toute la sciarra de même que sur les laves anciennes qui séparent les deux coulées, jusqu'à la limite du courant de la Sona où brusquement il se coupe et disparaît. A la limite opposée, il réapparaît de nouveau et l'on peut le suivre vers le sud-est par morceaux disséminés dans la plaine jusqu'à la porte de Catane où il passe sur la coulée du Fortino tandis que celle de 252 en détruit une arche. Ces deux coulées de la Sona et du M. Arso sont donc l'une postérieure, l'autre antérieure à la construction de l'aqueduc. Leur aspect superficiel permet d'ailleurs de leur assigner des âges très différents. Celui de

la Sona ne porte pas de végétation sinon des genêts sur les bords, ce qui lui donne l'aspect d'une formation récente. Lassaulx s'appuyant sur la nature de la flore qui le recouvre le suppose très postérieur à l'époque romaine. Le fait que l'aqueduc détruit n'a pas été relevé montre tout au moins que cette destruction est postérieure à l'apogée de l'empire romain, et contemporaine de la décadence ou du début du moyen-âge.

Si l'on remarque d'autre part qu'à partir du ^{xii}^e siècle cette zone est couverte de villes et de couvents normands, qui ne nous ont laissé aucun renseignement sur la formation d'une coulée de cette importance, on doit présumer que ce courant est antérieur à cette époque.

Il semble donc probable qu'il s'est formé entre la période de *décadence romaine* et le ^{xii}^e siècle. Lassaulx l'identifie sans autre raison avec l'éruption de 1169.

Nous reviendrons plus loin sur cette question de date en nous appuyant sur les données magnétiques.

Les échantillons ont été prélevés en 3 points.

On se rend à l'intersection des routes Licodia-Belpasso, Ragalna-Paterno (fig. 15). Au coin nord-est il y a une maisonnette où les cantonniers qui entretiennent les routes du voisinage laissent leurs vêtements et leurs outils (Casello operai stradali di Licodia-Belpasso). Au coin sud-est se trouve une briqueterie.

1. Descendant vers Paternò, on trouve presque aussitôt à gauche la petite carrière (1) de cultivateurs où j'ai prélevé les blocs 47, 48, 49. On ne la voit pas de la route il faut descendre dans un petit ravin peu profond qui se trouve sans doute sur le flanc du courant.

2. Si l'on se dirige vers *Belpasso* on quitte bientôt la coulée mais à un point où la route fait un coude, d'où le nom de *Ferro Cavallo*, on retrouve un petit bras sur lequel est creusée une assez bonne carrière où j'ai taillé les blocs 45 et 46 à 50 centimètres l'un de l'autre. La lave en ce point

pouvait avoir une épaisseur de 7 mètres et les points de prélèvement étaient à 3 mètres de la base. Sur la carte vulcanologique cette région est désignée par *grotta*.

3. Si l'on suit enfin la route de Ragalna, on trouve à la hauteur de Difesa, sur le côté droit, une petite carrière de lave bien homogène, en partie close par un mur qui n'empêche pas de la voir du chemin. J'y ai prélevé les blocs 50, 51 et 52.

2^o **Lave d'Aci-Castello.** — Sartorius et Lassaulx signalent à peine cette coulée et la carte de Chaix ne la mentionne pas. Ma limite est tout hypothétique et l'on ignore si un second bras ne vient pas contourner Aci-Castello jusqu'à la gauche du château normand. Ma carte, d'ailleurs, est un simple

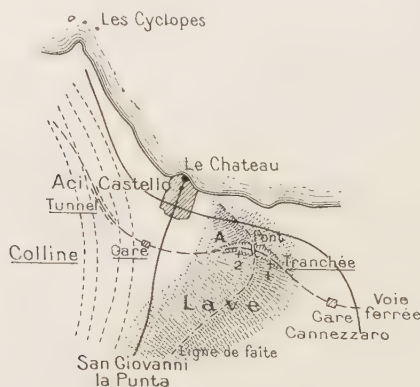


Fig. 16. — Lave d'Aci-Castello.

schéma sans prétention d'échelle (fig. 16) destiné à fournir quelques repères. La colline couverte de cactus ne semble pas être d'origine éruptive.

La coulée, qui d'ailleurs peut fort bien n'être pas d'une seule époque, est plantée d'oliviers et de cactus. Aux points où des blocs sortent du sol ils sont couverts de larges plaques

de lichens jaunes ayant l'aspect de la « *Xanthoria parietina* ».

Elle descend à peu près jusqu'à la mer et est entamée entre les stations de Cannezzaro et d'Aci-Castello par la voie ferrée qui forme une tranchée profonde d'une dizaine de mètres et longue de 400 mètres environ finissant exactement au point d'inflexion A de la voie. La ligne de faite de la coulée aboutit vers le milieu de la tranchée, qui, en ce point, est traversée par un pont. Si l'on suit la voie vers Messine, on remarque successivement du côté gauche trois massifs.

Le premier, traversé à sa partie supérieure par une conduite d'eau, a fourni les blocs 9_1 et 10_1 . Je l'ai représenté ci-dessous parce qu'il fournit un bon exemple de soulèvement ou d'effondrement après solidification.

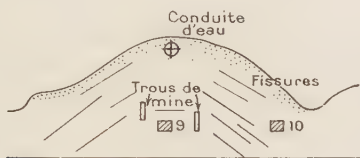


Fig. 17.

9_1 a été pris dans la partie qui n'a subi qu'une translation.

10_1 dans la partie qui a subi la rotation.

Le second massif porte le pont.

Le troisième, moins élevé, a fourni les blocs 11_1 , 12_1 , 13_1 toujours du côté gauche.

Pour la date de formation de ce courant le professeur Gaetano Platania de Catane m'a dit que certains savants la rapportait à 1169. Mais je n'ai pu trouver les raisons qui légitiment ce choix. Lassaulx ne fait pas même allusion à cette date.

Laves présumées des Carthaginois.

Dans un texte de Diodore (14,59) on rapporte que les Carthaginois et les Siciliens eurent une grande guerre sous le

tyran Denis I^{er}. Après que les Carthaginois se furent emparés de Palerme ils débarquèrent à Pelorum et prirent Messine par un coup de main. De là ils marchèrent sur Catane, Himilcon par terre, Majon avec la flotte. En avançant vers Tauromenium (Taormina), Himilcon vint à savoir que l'Etna depuis peu de temps avait eu une grande éruption et que le passage de l'armée en suivant la mer était devenu impossible.

« Parce que, dit Diodore, l'Etna avait rejeté de la lave jusqu'à la mer, il n'était pas possible de faire marcher l'armée de terre de front avec les vaisseaux qui suivaient la rive, mais comme toute la contrée avait été ravagée par un torrent de feu, l'armée de terre devait contourner l'Etna. »

Comme aux mois d'été, Himilcon était déjà devant Syracuse, l'éruption eut certainement lieu au commencement de l'année 394 avant J.-C.

On a rapporté à cette anecdote deux courants : celui de *Monte Mojo* et celui de *Monte Urna*.

1^o **Courant de Monte Mojo.** —

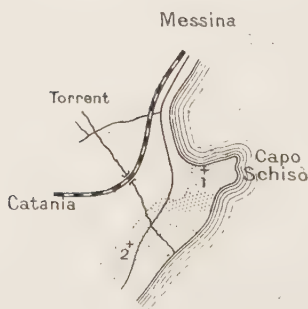


Fig. 18. — Lave de M^{te} Mojo
(Région de la côte).

C'est lui qui suivant le cours de l'Alcantraa est venu jeter le promontoire de Capo Schiso. Comme on a trouvé sur cette pointe les fondements de la ville de Naxos (736 avant J.-C.) on ne peut plus guère le considérer maintenant comme le courant ayant arrêté les Carthaginois. D'ailleurs l'épaisseur du dépôt d'alluvions apportées par les petites rivières de Calatapiano et de Pietra

perciata se comptent par mètres au-dessus de la coulée et témoignent également en faveur de son âge très ancien.

Malgré cela j'ai prélevé des échantillons en deux points.

1. Si venant de Giardini on suit la plage en marchant vers Capo Schisò, on est arrêté par un mur de lave qui vient se raccorder avec la côte tandis que la plage se rétrécit en pointe et disparaît. C'est très peu avant ce raccord que j'ai prélevé les blocs 53, 54, 55 sur la paroi regardant Taormina ; le plus extrême, 55, se trouvait près d'un abreuvoir à 2 m. du sol.

2. Le point 2 est plus difficile à trouver, car la lave figurée d'après la carte ne se voit qu'au voisinage de la mer. Suivant le chemin qui longe la plage, on s'engage après Capo Schiso parmi les jardins de citronniers. On traverse un torrent à sec en été puis par un chemin raide au début on arrive à un petit ruisseau. Aussitôt on trouve à droite la porte de fer de la propriété Foresta.

A l'intérieur la lave pointe en plusieurs endroits au milieu de prés ; ce sont d'anciennes carrières comblées. Je n'ai aucune garantie que cette lave soit celle de Capo Schiso, sinon la carte. C'est là que j'ai prélevé les blocs 56, 57, 58.

2^o **Courant de Monte Urna.** — Cette coulée que Lassaulx considère comme la lave de 394 ne figure pas sur la carte de Chaix ; ses limites doivent d'ailleurs être mal définies.

J'ai prélevé des échantillons en deux points.

1. Au commencement de la vieille route de Santa Tecla, dans la contrada Raccomandati, sur une propriété privée dite Fonte Cervo appartenant au baron Cali. Il y avait là deux carrières opposées dos à dos, séparées par une crête de lave de 1 m. 50 d'épaisseur, l'une à 7 mètres en contre-bas par rapport à l'autre.

Le bloc 60 a été pris dans la carrière élevée mais dans une masse qui peut bien être inclinée après solidification, car on voit cette inclinaison du côté 59.

Le bloc 59 dans la carrière basse, à une profondeur de 10 mètres au moins, mais à la base d'un soulèvement net, dans la partie qui me semble être restée immobile.

2. Sur la ligne de Messine, entre le premier et le second tunnel à la sortie d'Acireale, du côté *gauche*, en se dirigeant vers Giardini.

Dans le premier massif j'ai taillé 61 et 62 à 3 mètres l'un de l'autre.

Dans le dernier, avant d'arriver au tunnel, j'ai prélevé 63, à une profondeur considérable de 15 mètres, en sorte que je me demande si cette lave est bien la même que celle du premier massif.

J'ai constaté dans cette région où j'ai prélevé 61 une aimantation extraordinairement grande de la roche, supérieure à toutes celles rencontrées jusqu'ici, à tel point que la boussole approchée de certaines arêtes tournait de 180° .

La figure 19 représente par exemple l'orientation de la boussole quand on la déplaçait dans un plan horizontal sur le pourtour de la masse d'où j'ai détaché le bloc 61.

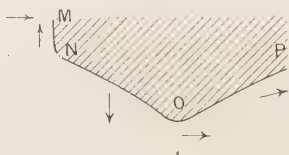


Fig. 19. — Orientation de la boussole au voisinage d'une roche aimantée anormalement (Acireale).

S'agit-il d'une fulmination ? Il faut en tout cas noter que la paroi dévie fortement la boussole sur une longueur de 150 mètres ; cette déviation toutefois ne dépasse jamais quelques dizaines de degrés sauf au point 61, le seul que j'aie pu trouver possédant cette intensité d'action.

Un fragment détaché de cette lave homogène influençait la boussole comme un fort aimant.

CHAPITRE III

Propriétés physiques des laves. Prélèvement des échantillons.

Aspect superficiel des coulées. — Lorsque l'on voit pour la première fois une coulée récente de l'Etna, on est frappé par cet immense courant de pierres noires s'élevant par endroits à 30 mètres de hauteur, puis se creusant en vallée profonde sans jamais donner l'impression d'une surface horizontale. On comprend immédiatement comment cette surface bouleversée ne peut pas fournir d'échantillons plus utiles que des cailloux roulés sur un chemin.

Ces laves à surface *rugueuse* et *cahotique*, couvertes de fragments irréguliers de toutes tailles, parfois d'énormes blocs qu'on sent s'être soulevés les uns sur les autres, sont donc générales dans le massif de l'Etna. Les Siciliens les appellent « Sciarra viva ». Elles donnent l'aspect d'une avalanche de pierres et portent sur leurs flancs l'équivalent des moraines latérales des glaciers.

Mais il existe un autre type général dans certains volcans, rare à l'Etna, c'est celui des laves à surface *unie* présentant des ondulations semblables à de grosses cordes juxtaposées. J'en ai vu à *Ognina* au voisinage de la mer. Mais le meilleur exemple est certainement la coulée de 1651 qui arrive à Bronte. Leur surface est vitreuse, elles sont plus légères que les précédentes.

Les laves du premier type (rugueux) ont une tendance à devenir rougeâtre par formation d'hydrate de fer, action de l'air humide sur les silicates.

Ces deux aspects dépendent surtout des conditions de refroidissement.

Structure d'une coulée. — Si l'on entame cette partie cahotique superficielle et que l'on taille une tranchée dans la masse, on constate alors l'existence de trois régions :



Fig. 20.

1° Une partie superficielle bulleuse, poreuse, scoriacée et vitreuse, sonore quand on la frappe. Cette partie peut atteindre 1 m. 50 dans une coulée de 6 mètres ;

2° Une partie centrale qui s'est refroidie lentement, elle est compacte, homogène et bien cristallisée. Elle a toutefois une structure légèrement stratifiée car elle a une tendance à se fendre suivant un certain plan facile à reconnaître que les ouvriers appellent « *lettera* » de letto (lit). Ce plan dans la lave en place est approximativement horizontal ;

3° Une partie inférieure également poreuse, mais moins épaisse que la première, elle atteindrait par exemple 0 m. 50 dans cette coulée de 6 mètres.

Pour peu que l'on pénètre en profondeur dans la lave poreuse on constate souvent que les bulles sont toutes allongées dans la même direction et dessinent les lignes de courants au moment où la masse s'est figée. Il en est quelquefois de même pour les longs cristaux dans la masse homogène (fénocristaux).

Structure de la lave. — Elle présente de gros cristaux d'augite, de feldspath, etc., atteignant parfois plusieurs millimètres pouvant d'ailleurs manquer complètement dans cer-

taines laves. Ce sont les *fénocristaux*. Puis viennent des cristaux de même nature mais *microscopiques*; le tout est cimenté par un lien vitreux.

On considère comme établi que les *microcristaux* seuls se forment dans la coulée stationnaire, les *fénocristaux* existant préformés dans le magma. Les raisons suivantes semblent en effet le prouver :

1^o On trouve dans la masse des cristaux brisés ou refondus à la surface ;

2^o On trouve de beaux cristaux dans une pâte restée parfaitement vitreuse, par suite du refroidissement brusque ;

3^o Il arrive que des projections de lapilli soient formées de cristaux parfaits d'augite ou de leucite (1).

A noter que les fénocristaux présentent souvent des inclusions de bases vitreuses ou d'autres cristaux.

Noter que la substance incluse est quelquefois la plus fusible.

Exemple : augite dans la leucite, quartz sur des plus fusibles.

Il ne s'agit donc pas de cristaux se formant simplement par refroidissement, mais sous l'action d'agents minéralisateurs comme la vapeur d'eau.

On admet, par exemple, que dans les roches *acides* ou *neutres* les minéraux basiques tendent à se former d'abord (magnétite, silicate ferro-magnésien), puis les silicates alcalins et alcalino-terreux, enfin la *silice*.

(1) Ces diverses raisons sont fournies par Mercalli dans son livre classique : *I vulcani attivi della terra...* Toutefois le professeur G. Ponte m'a signalé que par exemple au Stromboli des projections d'augite pure provenaient du phénomène suivant : L'explosion pulvérise des matériaux empruntés au cratère, et les projette verticalement. Pendant la chute les poussières sont emportées au loin, les matériaux lourds comme les cristaux d'augite retombant dans le cratère. On s'explique qu'après un certain nombre de criblages de ce genre la concentration en augite soit élevée. Cela ne prouve pas la préexistence des cristaux dans le *Magma*.

Dans les *roches basiques*, la magnétite et l'olivine se forment d'abord.

Propriétés physiques. — **FUSION.** — Les laves du Vésuve et de l'Etna en marche ont une température de 1000° à 1100° . On évalue la température du foyer :

à 1300° - 1400° pour les laves basaltiques ;
à 1500° - 1600° pour les laves trachi-andésitiques moins fusibles.

Cette température de 1000° à 1100° est la température de fusion commençante, car tous les éléments sont loin de fondre en même temps.

VISCOSITÉ D'UNE LAVE EN MARCHÉ. — Elle est liée à l'élévation de son point de fusion, aux gaz et cristaux préformés qu'elle tient en suspension.

Les laves trachitiques le sont plus que les laves basaltiques.

CONDUCTIBILITÉ CALORIFIQUE. — Elle est très *faible*. Tout s'accorde à ce sujet :

1^o Quand dans un courant en mouvement la partie intérieure est fluide et incandescente, on peut impunément se promener à la surface dès que la croûte a quelques décimètres d'épaisseur ;

2^o En 1827, Lyell a vu près de l'observatoire actuel de l'Etna de la neige intacte sous une coulée récente de lave ; trente ans plus tard il la retrouvait dans le même état ;

3^o En 1879 de Saussure a observé la neige intacte à travers les fissures d'une coulée encore brûlante, ainsi qu'au voisinage de bouches rejetant des scories incandescentes.

On conçoit dès lors que le refroidissement intérieur soit extrêmement lent. Il dure en effet des mois et des années. Voici des exemples :

a) Ferrara signale que la lave de 1669, à Catane, était encore extrêmement chaude 8 ans plus tard ;

b) Au Vésuve, en 1737, les ouvriers qui au bout d'un mois tentèrent par ordre du roi de dégager une route, ne purent continuer parce que la chaleur de la roche ramollissait leurs outils ;

c) En 1803, Humboldt, 44 ans après l'éruption de Jorullo (Mexique) trouva la lave encore chaude ;

d) Mercalli observe sur la coulée du Vésuve de 1899 que la lave reste incandescente à l'intérieur pendant 2 ans 1/2.

Toutefois, il est invraisemblable que la mauvaise conductibilité calorifique suffise à expliquer cette lenteur de refroidissement, il est probable que d'autres énergies sont mises en jeu comme, par exemple, un dégagement de chaleur dû à la cristallisation (Mercalli).

Dans bien des cas on a même exagéré, croyant que le dégagement de vapeur d'eau qui accompagne les pluies tenait à la haute température intérieure, alors qu'il est plutôt la manifestation d'une réaction chimique comme nous l'avons signalé pour la lave de 1911.

CONTRACTION PAR SOLIDIFICATION. — Elle est prouvée par des mesures de densités :

d	$<$	d	$<$	d
lave fondue		lave solide vitreuse		lave solide cristallisé (naturelle)
par exemple : 2,6		2,7		2,8

Les roches acides se contractent plus que les basiques.

AIMANTATION. — Les laves sont enfin susceptibles, grâce aux composés ferrugineux qu'elles contiennent, de prendre une aimantation permanente quand on les place dans un champ.

En fait à la température ordinaire le champ terrestre leur communiquerait un magnétisme rémanent inappréciable ; mais si au contraire ces laves portées préalablement à haute

température se refroidissent lentement dans ce champ, l'aimantation devient parfaitement mesurable et nous verrons plus loin que sa valeur moyenne est de l'ordre de 0,008 C. G. S.

On sait déjà par l'historique quel intérêt s'attache à l'étude de cette aimantation. Nous allons dans la suite de ce chapitre utiliser les propriétés énumérées antérieurement et les résultats du chapitre V pour comprendre la répartition de l'aimantation dans les coulées, ses rapports avec le champ régulier hors du massif, et pour choisir les points de prélèvement susceptibles de fournir les échantillons les plus facilement interprétables.

Solidification et mécanisme de l'aimantation. — Considérons d'abord un courant se solidifiant dans un champ magnétique uniforme, par exemple sur terrain sédimentaire. Au début le liquide incandescent coule à l'intérieur d'une gaine solide qui se rompt et s'allonge constamment jusqu'au moment où le cratère cessant de rejeter la lave, la poussée intérieure devient trop faible pour briser la gaine; à partir de ce moment la coulée se consolide en place.

Tandis que l'étui extérieur, brusquement figé, s'est aimanté dans le champ non troublé, la partie intérieure cristallise lentement dans un champ perturbé par les masses solides déjà formées. Il faut, en effet, se souvenir que grâce à la mauvaise conductibilité des laves, il peut exister entre des points distants de 50 cm., des différences de température de 500° et plus. C'est dire qu'une masse à basse température ayant déjà atteint son aimantation permanente normale peut cotoyer une masse fluide en voie de solidification. Or, nous verrons au *chapitre V* qu'une masse indéfinie de lave, limitée par un plan vertical, peut apporter à la direction du champ terrestre des perturbations d'une amplitude de 12° à 14° et plus. Dans le cas actuel, la surface limitant la matière aimantée est tout à fait indéterminée, mais on conçoit que

son influence puisse être de même ordre et que par conséquent la partie intérieure se fige dans un champ fortement troublé. Il semblerait donc préférable d'utiliser les parties solidifiées brusquement pour retrouver la direction du champ initial. Malheureusement, nous savons que ces régions superficielles ont été constamment déplacées pendant la progression du courant et leur situation géographique au moment de la solidification étant absolument inconnue, elles ne fournissent en réalité aucun renseignement. Force est donc d'utiliser la lave intérieure.

Mais le cas du trajet en terrain sédimentaire est rare, plaçons-nous maintenant dans le cas habituel où la coulée se solidifie en terrain volcanique. Le champ initial n'est plus uniforme : nous verrons au *chapitre V* que ce champ *apparent* dérive de ce que nous appellerons le champ *vrai*, ou champ considéré à une hauteur suffisante au-dessus du massif pour que les inégalités de terrain disparaissent et des perturbations dues à la forme irrégulière des masses aimantées proches; le champ *vrai* varie régulièrement autour de l'Etna et ne diffère que de quelques grades du champ *régulier* hors du massif. On voit par conséquent dans quel champ complexe chaque particule de lave se solidifie, l'influence des masses récemment aimantées se joignant à celle de l'ensemble du massif et à l'influence locale des coulées sous-jacentes.

On conçoit dès lors que pour un courant d'âge donné, les orientations de l'aimantation oscillent dans un intervalle d'une dizaine de degré de part et d'autre de la moyenne.

Etant donnée la forme imprévisible des parties solides, il est difficile de prévoir une loi de répartition dans l'intervalle. Il n'y a en tout cas aucune raison pour que les nombres se tassent au voisinage de la moyenne. En fait, l'expérience montre bien que l'intervalle est uniformément rempli.

Avant de m'être rendu compte de l'influence des masses aimantées voisines pendant la consolidation, j'attribuais cet

éparpillement de nombres à des changements accidentels et petits de l'orientation de la lave après refroidissement. Je m'étonnais alors qu'il n'y ait pas, conformément à la loi exponentielle, tassement au voisinage de la moyenne, car j'étais convaincu *a priori* qu'en faisant un grand nombre de mesures sur une coulée j'obtiendrais comme loi de répartition une courbe en cloche.

On voit qu'il n'en est rien et que les mêmes raisons qui font de la courbe de répartition des déclinaisons actuelles une courbe à 2 *maxima* (chap. V), font que la répartition en question ne saurait être exponentielle mais bien plutôt *uniforme* entre deux limites.

Quel est le sens de la moyenne ?

En toute rigueur il est difficile de le préciser, mais *approximativement* on conçoit qu'elles fournissent le champ du volcan tel qu'il existe dans la région (champ vrai), c'est-à-dire différent de *quelques degrés* du champ loin du massif.

Si l'on savait exactement à quoi s'en tenir sur le champ *vrai*, il faudrait faire cette correction pour passer au champ *régulier*.

Mais nos connaissances sont encore beaucoup trop confuses sur cette distribution autour du massif. Nous prendrons donc la *moyenne sans correction*, quelque soit le point de prélèvement de la lave, comme fournissant à quelques degrés près la déclinaison dans la région régulière.

Pour l'inclinaison, l'interprétation est beaucoup plus difficile, pour cette raison que la surface aimantée du massif étant à peu près horizontale la discontinuité de la composante normale et la continuité de la composante tangentielle devraient altérer l'inclinaison et non la déclinaison ou du moins beaucoup plus l'*inclinaison* que la *déclinaison*. On peut donc s'attendre à avoir sur le massif une inclinaison très différente de celle existant dans la région régulière. Et il est difficile de rattacher les résultats des laves à ces résultats loin

du volcan tant que l'on n'aura pas préalablement fait des mesures d'inclinaison sur l'emplacement des coulées. On verra plus loin que les différences en question sont de même ordre que les variations séculaires.

REMARQUE. — Sur terrain sédimentaire on peut s'attendre à ce que ces perturbations d'inclinaison soient très réduites. C'est en effet ce que j'ai pu constater dans les cas peu fréquents où j'ai prélevé des échantillons en terrain non volcanique.

Choix de l'emplacement. — De tout ce qui précède il résulte que les moyennes seules ont un sens, encore est-il nécessaire de bien choisir les échantillons. Voici l'ensemble des considérations qui doivent guider pour le choix d'un emplacement :

1° Il est d'abord fondamental qu'au point de prélèvement la lave se soit *solidifiée en place*. Sans cela le plan horizontal et le méridien géographique seraient des repères sans intérêt. Lorsque l'on travaille dans une carrière profonde qui s'étend sur un front de plusieurs dizaines de mètres, on voit très facilement les parties qui se sont solidifiées au repos. Le banc peut en effet présenter deux aspects :

a) Il peut former une couche régulière d'épaisseur à peu près constante (fig. 20) où l'on distingue trois zones, une centrale *homogène* parcourue par un réseau irrégulier de fissures et deux superficielles poreuses. En travaillant dans cette partie homogène, on a toutes les garanties de conservation du plan horizontal depuis la solidification, car cette partie était encore en fusion quand la coulée s'est arrêtée ;

b) Il peut au contraire former une couche vallonnée coupée par de profonds sillons de scories et présentant fréquemment des zones de soulèvement ou d'effondrement (fig. 17). Les fissures dessinent alors les lignes de pente et ne se sont pas produites sous le même type d'effort que dans la figure 20.

Dans 20, en effet, il s'agit simplement de tensions régulières provenant de la contraction accompagnant le refroidissement.

Dans 17 d'une poussée orientée verticalement provenant sans doute du mouvement de progression du magma fluide qui a fait craquer les couches suivant la ligne de moindre résistance, c'est-à-dire suivant le plan de clivage qu'est la « lettera ».

Dans ce dernier cas, les meilleures garanties sont offertes par un bloc tel que 9 qui, en principe, n'a subi qu'une translation verticale.

Un exemple curieux d'un bouleversement de ce genre m'a été fourni par une lave comprise entre Cannizzaro et Acicastello, coupée par la voie suivant une tranchée profonde et affectant constamment cette forme vallonnée de la figure 17 qui représente précisément la section d'un des massifs.

L'orientation moyenne de l'aimantation de la coulée déterminée sur des échantillons prélevés en des points distants de centaines de mètres a fourni :

$$\begin{aligned}\text{Déclinaison} &= 7,5 \text{ degrés orientaux,} \\ \text{Inclinaison} &= 58^{\circ}6.\end{aligned}$$

Ayant, d'autre part, taillé deux échantillons 9 et 10 aux points indiqués sur la figure 2, j'ai obtenu les nombres suivants :

Bloc 9 :

$$\begin{aligned}\text{Déclinaison} &= 11,7 \text{ degrés orientaux,} \\ \text{Inclinaison} &= 65^{\circ}.\end{aligned}$$

Bloc 10 :

$$\begin{aligned}\text{Déclinaison} &= + 29,7 \text{ degrés occidentaux,} \\ \text{Inclinaison} &= 30^{\circ}5.\end{aligned}$$

Ainsi la partie 10, ayant déjà acquis son aimantation permanente a subi un bouleversement, tandis que la partie 9 n'a subi qu'une translation sans influence sur les directions

de plan d'origine. Cet exemple légitime bien le prélèvement au point où les fissures font le dôme.

Dans ces deux cas de tranchées profondes, il vaut toujours mieux, si c'est possible, prendre la lave homogène. D'abord elle est beaucoup plus facile à travailler et, d'autre part, les trous coniques faits dans la lave poreuse laissent beaucoup à désirer. Mais surtout on ne sait jamais si la partie où l'on travaille n'a pas appartenu à un bloc roulé, refondu superficiellement et incorporé dans la masse. La croûte initiale se brise en effet fréquemment et les blocs formés, charriés à la manière des icebergs des mers polaires, sont transportés parfois à de grandes distances après avoir changé complètement d'orientation. Si ces blocs restaient distincts de la masse on le verrait, mais ils peuvent s'y incorporer. Or, étant donné tout ce que l'on sait de la mauvaise conductibilité des laves, le centre d'un bloc d'un mètre cube peut être à température assez basse pour conserver son magnétisme permanent alors que sa surface est en fusion.

Toute la partie superficielle quoique soudée au reste de la masse n'offre donc pas de garanties. C'est pourquoi il vaut mieux travailler dans la partie homogène qui sans doute possible s'est consolidée en place.

Mais il arrive aussi qu'il est impossible sur une coulée de trouver de tranchée profonde et qu'il est nécessaire de travailler sur des masses à fleur de terre. En ce cas, la seule garantie est la concordance des résultats magnétiques. Il ne faut pas s'étonner de trouver des blocs aberrants.

2^o La région de prélèvement ayant été choisie, il faut qu'elle présente un point suffisamment saillant, pour qu'on puisse y placer l'ensemble du trépied et du théodolite puis, d'autre part, pour qu'on puisse détacher le bloc de préférence sans le briser. Il faut pour cela travailler sur un coin, ce qui limite beaucoup les points commodes de prélèvement. On ne peut pas songer par exemple à tailler un bloc dans

une paroi indéfinie horizontale, car le travail serait par trop considérable.

3° Il faut enfin choisir une région d'où l'on puisse voir le soleil où tout au moins d'où l'on aperçoive un point éloigné où le soleil est visible, bref un point tel qu'à l'aide de mesures géodésiques on puisse reporter sur le bloc la direction du méridien géographique déterminée en un autre point par une mesure de hauteur et d'azimut solaire.

4° C'est un fait d'expérience que les laves fortement aimantées, quelle que soit l'origine de cette aimantation, ont un magnétisme incohérent en direction sans relation avec le champ terrestre. Leur aimantation même créant en effet un champ très supérieur à ce dernier, les portions liquides se solidifient dans un champ bouleversé par l'aimantation des portions déjà consolidées, en sorte que l'on ne peut pas s'attendre à trouver une orientation définie. En conséquence, il faut absolument éviter ces points d'aimantation singulière.

Le mieux est donc de promener la boussole au voisinage des régions où l'on a l'intention de prélever un échantillon et de s'assurer que la direction du champ reste bien *constante* dans toute la région avoisinante. Sinon l'on peut rejeter le bloc, le renseignement qu'il apporterait serait très probablement incohérent.

En résumé le point de prélèvement doit satisfaire à quatre conditions :

- a) Garanties de conservation du plan horizontal ;
 - b) Commodité de mise en station du théodolite et possibilité de détacher la roche ;
 - c) Observation possible du méridien géographique ;
 - d) Aimantation régulière et faible.
-

CHAPITRE IV

Repérage des orientations.

En admettant que l'aimantation permanente de la roche reste la même après qu'on l'a détachée, il faut pouvoir, en l'étudiant au laboratoire, rapporter cette aimantation à des directions bien définies, savoir : un plan horizontal et le méridien géographique, puisque ce sont les plans d'origine dans la définition de la déclinaison et de l'inclinaison. Voici comment on procédait pour fixer ces deux éléments et pour déterminer de plus la déclinaison actuelle au voisinage de la paroi.

Nous donnerons d'abord les principes des méthodes, puis les détails spéciaux concernant ce genre de mesures.

Principe des méthodes.

1^o **Plan horizontal.** — On choisit dans une tranchée un point remplissant les conditions énumérées antérieurement et l'on taille au burin une surface aussi plane que possible, approximativement horizontale. Puis ayant gravé sur ce plan la direction de l'aiguille aimantée supposée identique sur tout le bloc, on y creuse trois trous coniques *abc* (fig. 21) tels que la droite joignant deux d'entre eux soit parallèle à la direction du nord magnétique et disposée à l'ouest de la flèche en général. Le côté du triangle équilatéral ayant ces trois trous pour sommets est choisi de façon qu'ils puissent recevoir les pieds d'un certain trépied constitué comme il suit : dans un disque de laiton D (fig. 21), aux sommets *a'b'c'* d'un

triangle équilatéral on a vissé trois pieds identiques P. La vis V, rasée en c' au niveau de la surface supérieure du disque, est taillée en a' en mire, en b' en pointe de façon à définir une direction $a''b''$ liée invariablement au trépied.

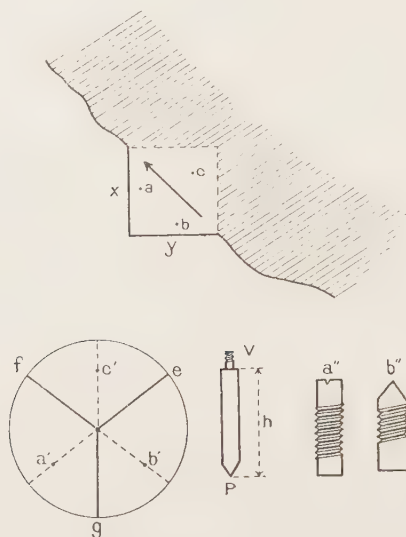


Fig. 21. — Le trépied.

On aurait d'ailleurs grand avantage dans un autre modèle à remplacer cette direction fixe par l'axe optique d'une petite lunette immobile par rapport au trépied. Je choisissais toujours les pieds $a''b''$ pour les mettre dans les trous ab du même côté de la flèche; ainsi à 2 ou 3 degrés près la direction $a''b''$ se confondait avec la direction de la boussole sur la roche. On donnait enfin aux trois trous abc , des profondeurs telles que le plan supérieur du trépied fut horizontal. A ce moment le plan passant par le fond des trois trous était également *horizontal* puisque les trois pieds sont d'égale longueur et je repérais ainsi dans la lave un plan horizontal meilleur que celui grossièrement taillé au début.

L'expérience m'a d'ailleurs montré que la différence entre le plan horizontal vrai et le plan horizontal approché était de même ordre de grandeur que la précision de mes mesures d'angles d'aimantation, je me suis donc borné en général à utiliser le plan approché.

2^o **Méridien géographique.** — Pour le déterminer j'utilisais un petit théodolite, du modèle employé pendant la guerre pour régler le tir de l'artillerie. Le trépied pour recevoir les vis calantes du théodolite porte trois rainures *efg* (fig. 21) ; il vaut mieux s'astreindre à mettre chaque vis calante toujours dans la même rainure : ainsi on peut éviter des erreurs provenant de petits défauts mécaniques de symétrie. J'avais dans ce but numéroté les rainures et les pieds du théodolite.

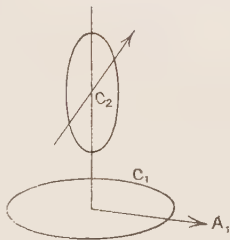


Fig. 22.

Puis pour orienter le cercle horizontal C_1 MOBILE (fig. 22) toujours de la même façon par rapport au trépied, on pointe un objet éloigné d'abord avec la direction ($a''b''$), puis avec la lunette du théodolite et l'on fait tourner le cercle horizontal C_1 de façon à amener l'alidade A_1 , maintenue immobile avec la lunette durant la rotation de C_1 , à une position toujours la même. On repère ainsi sur ce cercle horizontal la direction $a''b''$ fixe du trépied.

Ceci posé, pointons le soleil avec le théodolite réglé et en place sur le trépied, lui-même en place dans ses trous *abc*. Soit :

λ la latitude du lieu ;

h la hauteur mesurée pour l'astre ;

$\mathcal{D}$ la déclinaison solaire fournie par les tables pour le jour et l'heure considérés.

Le triangle sphérique AZP de la figure 23 donne alors l'azimut A de l'astre :

$$\operatorname{tg} \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin (p-b) \sin (p-c)}{\sin p \sin (p-a)}}$$

en appelant abc les compléments de $\mathfrak{D}$, h , λ ou côté du triangle sphérique et p la demi-somme :

$$\frac{a+b+c}{2}$$

J'en tire donc la valeur de l'azimut, angle du plan passant par l'astre ou cercle horaire de l'astre, avec le méridien et

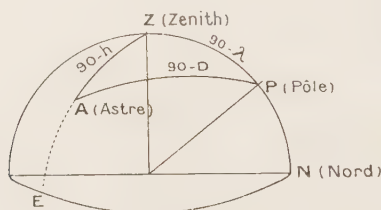


Fig. 23.

comme le pointé du soleil a permis de repérer le cercle horaire de l'astre sur la graduation horizontale du théodolite, en tournant de la valeur calculée pour A, dans le bon sens j'amènerai l'axe optique de la lunette dans le plan du méridien géographique ; je connaîtrai ainsi l'angle du méridien géographique avec le plan vertical passant par $a''b''$, direction liée au bloc de lave.

Je connais donc, à partir de ce moment, sur l'échantillon, un *plan horizontal* et le *méridien*. Il ne reste plus qu'à le détacher, pour effectuer les mesures d'aimantation au laboratoire.

3° **Méridien magnétique actuel.** — Toutefois, avant de déta-

cher la lave j'ai fait dans tous les cas une mesure de déclinaison au point considéré. Le théodolite porte en effet sous le cercle horizontal une aiguille aimantée SN dont le pôle nord recourbé se déplace devant une réglette. Je repérais sur le cercle horizontal du théodolite la direction :

Pivôt de l'aiguille aimantée | zéro de la réglette.

Comme j'avais fait pour la direction $a''b''$:

mire. | aiguille.

Je connaissais la valeur d'une division de la réglette en *grades*, je pouvais donc repérer la direction du méridien magnétique sur C_1 . Celle du méridien géographique étant connue, j'en déduisais la déclinaison.

Détails techniques.

Le début de ce chapitre a été consacré aux généralités sur le repérage des orientations ; ce qui suivra fournira le complément technique nécessaire.

Une première partie relative à la taille des laves se rapporte plus particulièrement au dressage du plan horizontal, au forage des trous, au détachement du bloc.

Une seconde partie vise les réglages spéciaux du théodolite et la précision des mesures.

La détermination du méridien à l'aide de tables et de graphiques, forme la troisième partie.

PREMIÈRE PARTIE. — LA TAILLE DES LAVES

Instruments habituels de taille. Nomenclature. — Etant donnée la dureté de la lave on ne saurait utiliser pour la travailler de scies ni de foreuses, à moins d'entendre par là un disque dont le pourtour est incrusté de diamants ou une perceuse à pointe de diamant noir, mais ce ne sont pas des

instruments d'usage courant. Les ouvriers des carrières siciliennes la taille par percussion en utilisant des outils d'acier bien trempé et cherchant à faire fendre la pierre suivant des directions données (cela réussit spécialement suivant la lettera), ou bien en faisant sauter des éclats de grandeur convenable pour aplanir par exemple une face naturelle.

Cette percussion s'exercera :

a) Soit par une face plane comme dans nos marteaux, *bocca* ;

b) Soit par un tranchant, *taglio* ;

c) Soit par une pointe, *punta*.

C'est de la combinaison de ces trois types que dérivent tous les instruments.

Voici d'abord les instruments légers dérivés du ciseau, qui reçoivent la percussion de la *mazzola* :

1^o Le dégrossissage se fait au *scapozzino*, sorte de ciseau renflé dans la partie coupante et à tranchant très ouvert, en sorte qu'il s'ébrèche difficilement ;

2^o Pour travailler des régions étroites ou faire sauter des aspérités, on utilise la *punta* ou *subbia*, ciseau aminci et à tranchant aigu.

3^o Pour planir on se sert du *scalpello*, c'est-à-dire du ciseau ordinaire à tranchant large et aigu. C'est de là que vient le nom de *scalpellino*, pour l'ouvrier qui travaille la lave hors de la carrière.

En général, il emporte pour le travail d'une journée une douzaine de *punte* et *scalpelli* qu'il désigne par le nom vague de « I ferri ».

Naturellement chaque soir il faut faire reforger les ciseaux par le « fabro ferraio » du village qui souvent n'a que des notions assez vagues de trempe. Il est bon de surveiller le travail, surtout si l'on a apporté de *bons aciers*, ceux utilisés par les scalpellini siciliens sont bon marché et laissent souvent beaucoup à désirer.

4° Ces divers types de ciseaux sont frappés avec la *mazzola*, sorte de masse à deux parties planes (2 bouche) pesant de 1 à 2 kg. Le manche est en acacia ou en micocoulier.

Ce sont là les outils du scalpellino ordinaire avec une équerre (*squadra* ou *squaruccio*) et du charbon de cornue ou un peu de tuile tendre pour tracer les traits sur la pierre. Naturellement nous avons besoin en plus d'un niveau (livello) et quelquefois d'un fil à plomb (piombino).

Voici maintenant les outils d'usage moins courant :

Mazza (2 bouche), énorme mazzola de 8 à 12 kg., à long manche, que l'on manœuvre à deux mains.

Mazzotto (1 bocca, 1 taglio).

Martellina (2 tagli horizontaux), c'est l'instrument par excellence du planissage ; l'ouvrier à l'aide de petits chocs réguliers fait disparaître peu à peu toutes les aspérités.

Agnetto (2 tagli verticaux), employé pour fendre la lave.

Picco (2 pointes).

Ces derniers instruments seraient souvent utiles, mais ils sont trop lourds pour être transportables.

Plan horizontal. — Ayant dégrossi la surface destinée à

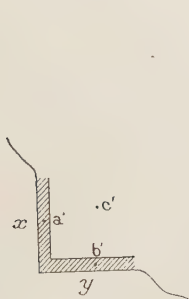


Fig. 24.

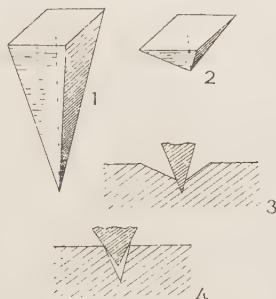


Fig. 25.

devenir plane et rectifié légèrement les faces verticales x et y , on dresse deux bandes le long de x , y au ciseau et au

niveau (fig. 24) et on les amène à une bonne horizontalité. Puis plaçant deux pieds du trépied sur ces bandes en a' et b' , on creuse en c' à la punta un large trou de 3 cm. de diamètre où l'on engage le troisième pied et l'on cherche à donner à ce trou une profondeur telle que la surface du trépied soit horizontale. Il est alors aisé de tailler la surface de la lave en se guidant sur ces trois repères, en particulier en mettant l'œil au niveau des bandes et regardant les points bossués.

Les trous définitifs abc où doivent se loger les pieds du trépied doivent être bien coniques, à fond bien défini et à large ouverture pour que la pointe s'y place toujours de la même façon. J'utilisais dans ce but deux punte de forme spéciale (fig. 25), taillées en pyramide, l'une très aiguë (1), l'autre très obtuse (2) : la première servait à faire le fond, la seconde à évaser les bords, le trou définitif ayant une forme telle que 3. Pour creuser un tel trou on tient la punta normale au plan, et tandis qu'on la frappe régulièrement avec un marteau léger on l'anime d'un mouvement de rotation à la main. De temps en temps on évase le trou avec la punta (2) de façon à bien porter dans le fond et à n'avoir pas l'aspect (4). Si ce dernier cas était réalisé sans qu'on le sache, on pourrait creuser profondément à la punta fine sans améliorer le réglage de l'horizontalité du trépied. La remise en place serait également mal définie. En toute rigueur, il est fort difficile de faire trois trous pour y loger trois pointes et l'on sait qu'il est d'usage courant d'utiliser un trou, une fente en biseau et un plan. Je ne crois pas, dans le cas présent, qu'il y aurait un avantage quelconque à procéder ainsi étant donné le grain de la surface. Pratiquement d'ailleurs il n'y a aucune difficulté à trouver les points où il faut creuser les trous, car il est aisé en obliquant légèrement la punta de faire dévier le fond dans un sens ou dans l'autre.

La flèche indiquant la direction de la boussole était gravée avec un ciseau à tranchant frais, puis peinte pour être rendue plus visible. A l'ouest de la flèche, entre les deux trous ab ,

je peignais en chiffres romains le numéro d'ordre du bloc, toujours avec la disposition de la flèche en dessus (J'entourais enfin chaque trou *abc* d'un cercle pour qu'on ne le confonde pas avec une cavité naturelle de la pierre). La peinture au minium convient très bien, je l'ai utilisée lors de mon premier voyage. Dans le second j'ai utilisé du bleu pour qu'il n'y ait pas de confusion possible.

Ayant alors noté la direction et l'aspect de la paroi, la profondeur de la lave, la hauteur du bloc au-dessus de la

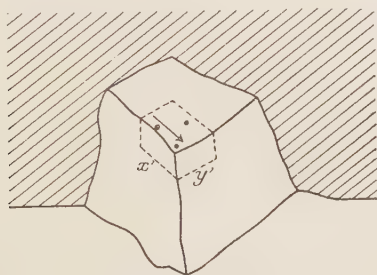


Fig. 26.

base de la coulée, et la topographie du terrain avoisinant, on commençait à détacher le bloc en creusant tout autour des sillons, par exemple suivant le pointillé de la figure ; ceux de la face horizontale sont particulièrement à soigner parce que les faces correspondantes ne répondent pas à un clivage naturel. Quand ils sont assez profond on cherche à violents coups de mazzola le long de $x'y'$ (fig. 26) à faire fendre suivant la *lettera*. Quand la fente commence à se produire, on est averti par la sonorité des coups qui change et devient plus étouffée, moins prolongée. Il est alors bon de s'arrêter et d'observer attentivement la direction des fissures produites, de façon à savoir où porter l'effort pour les diriger, ou remédier à leur mauvaise orientation.

L'important est que le bloc se détache en conservant

intacte la portion du plan horizontal contenant les trois trous. On peut ensuite sur un sol *meuble* ou sur ses genoux le tailler à l'équerre et enlever toute la matière inutile.

Mais il arrive que le bloc se brise, séparant l'un des trous des deux autres; s'il n'y a que deux fragments on peut cependant les utiliser, car en général ils s'adaptent exactement l'un à l'autre et en les fixant à la colle forte on replace les trois trous dans leur position primitive.

Il est même quelquefois absolument nécessaire de procéder ainsi, car il y a des laves à structures *nouveuses* sans lettera, qu'on ne peut pas faire fendre suivant les plans. Celle de 1284, à Zafferana, en est un exemple.

Remarque. — On peut au laboratoire utiliser d'autres méthodes de taille. Un disque de cuivre rouge sur lequel on fait tomber de l'émeri et de l'eau permet de couper régulièrement la lave surtout quand il s'agit de petits fragments.

DEUXIÈME PARTIE. — DÉTAILS DIVERS SUR LE THÉODOLITE ET SES RÉGLAGES COURANTS

I. Description particulière du théodolite employé. — C'était le petit théodolite H. Morin utilisé par l'artillerie lourde. Cet appareil fort peu encombrant (dimensions de la caisse = 26/20/17, masse = 5 kil.) convenait tout particulièrement pour ces recherches.

La *graduation horizontale* est constituée d'un limbe gradué en *grades* et d'une alidade portant un vernier permettant de lire 0,02 grade. Elle croît dans le sens trigonométrique. Deux vis de serrage permettent d'immobiliser le limbe par rapport aux vis calantes et l'alidade par rapport au limbe. Les parties 2 et 3 de la figure 27 représentent la pièce *a* qui forme étau sur le bord du limbe et la vis *V* qui permet le serrage.

Une autre vis latérale *v* prenant un point d'appui sur *a*

bloqué déplace d'un mouvement lent le bâti *b* et la partie de l'appareil qui en est solidaire.

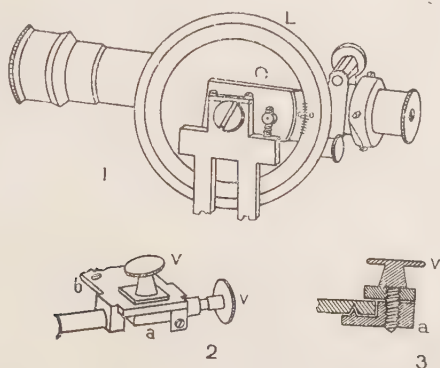


Fig. 27. — La lunette.

La *graduation verticale*, figurée schématiquement en 1, comprend un limbe *L* fixé invariablement au tourillon gauche de la lunette, normal à l'axe par construction et un vernier *c* solidaire du coussinet gauche mais susceptible de réglage. Le limbe est gradué en degrés et $1/2$ degrés; le vernier donne la minute.

La figure 28 représente schématiquement le tourillon droit de centre *O*. Les deux montants supportent le coussinet par l'intermédiaire d'une fourche *F*. Deux vis *h* et *h'* permettent de la déformer dans les deux sens et par suite d'élever ou d'abaisser le tourillon; par suite de régler l'inclinaison de l'axe de rotation de la lunette. Un collier *O* solidaire d'une tige *k* qu'on peut bloquer avec une vis *V'* embrasse l'axe et permet de l'immobiliser. La vis *V'* en commandant la tige *k* permet de communiquer à ce même axe de très petites rotations.

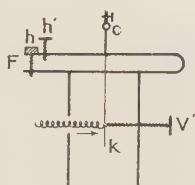


Fig. 28. — Schéma pour le réglage de l'horizontalité de l'axe de rotation de la lunette.

Le *déclinatoire* fixé sur le limbe horizontal est représenté schématiquement (fig. 29) ; l'aiguille aimantée dissymétrique a son extrémité nord aiguë et recourbée, elle porte par une chape en pierre dure sur un pivot d'acier. Une petite lame de métal *f* soulevée par une vis *e* permet de l'immobiliser contre la pièce *d* quand l'appareil est au repos. Une loupe *G* permet la lecture sur la règle *R* de la position de l'aiguille.

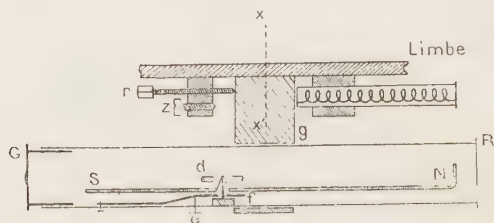


Fig. 29. — Le déclinatoire.

L'ensemble du tube et de la pièce qui le porte est mobile autour d'un axe xx' qui serait derrière le plan de figure. La vis *r* permet de commander le mouvement, la vis *Z* de butée permet de régler la direction *pivot-zéro* par rapport à la graduation horizontale. Un trou pratiqué dans la masse *g* permet d'orienter cette direction vers un objet éloigné avec une certaine précision. Je ne faisais pas usage de la vis *r* ; le déclinatoire reposait invariablement sur la vis de *butée* *Z* réglée une fois pour toute.

La lunette est munie d'un réticule gravé sur verre.

L'appareil ne porte qu'un niveau solidaire de l'alidade horizontale et réglable par rotation d'une plaque courbe, sous l'action de deux vis de pression *jj'*, sur le plan de l'alidade.

II. Réglages dont on dispose. — Je parle des réglages qui subsistent quand on change l'appareil de lieu.

Ils sont au nombre de six que nous examinerons sommairement :

1^o *Amener la ligne de foi du niveau à être normale à l'axe vertical.* — Le niveau étant parallèle à deux vis calantes, amener la bulle entre ses repères en agissant sur ces vis. Tourner de 200 grades. Si la bulle a quitté les repères, la ramener de moitié en agissant sur les vis j et j' serrant par exemple j et desserrant j' . Recommencer la même opération jusqu'à ce que la bulle revienne exactement entre ses repères.

2^o *Amener l'axe de rotation de la lunette à être normale à l'axe vertical.* — Le réglage de l'axe de l'alidade ayant été obtenu par le procédé classique, on vise un long fil à plomb immobile. Quand on modifie l'inclinaison de la lunette la croisée du réticule ne doit pas quitter l'image du fil, sinon l'on agit sur les vis hh' jusqu'à obtention de ce résultat.

3^o *Amener l'un des fils du réticule dans un plan vertical.* — On desserre légèrement les vis de la crémaillère et on fait tourner à la main le coulant de la lunette jusqu'à ce que le fil couvre exactement le fil à plomb.

4^o *Réglage du limbe horizontal par rapport à la direction mire-aiguille.*

5^o *Réglage de la direction pivot-zéro du déclinatoire par rapport au limbe horizontal.*

6^o *Réglage du vernier de la graduation du cercle vertical.*

Nous reviendrons avec des exemples numériques sur ces trois dernières parties.

L'appareil étant correct à ces six points de vue, il n'y a plus avant chaque mesure de hauteur du soleil qu'à régler avec les vis calantes la *verticalité* de l'axe de l'alidade.

III. Observation du soleil. — Cette observation est souvent facilitée par l'adjonction à l'oculaire d'un petit prisme à

réflexion totale. Il peut arriver par exemple que l'ocilleton soit au voisinage d'une paroi et qu'on ne puisse pas placer la tête. Le prisme orienté de façon convenable permet alors une observation plus commode. Il était tout simplement maintenu dans un bouchon qui portait en mm' une lame de verre *noir* (fig. 30). Une glissière de clinquant nn' permettait de fixer le tout à l'oculaire.

Pour amener le soleil dans la lunette on enlève le prisme et son support, on dirige à peu près l'axe dans la direction

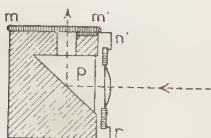


Fig. 30.



Fig. 31.

de l'astre et l'on observe sur une feuille de papier placée derrière la lunette. Le timbre vertical L (fig. 31) porte sur l'écran une ombre elliptique et parallèlement au grand axe de cette ellipse se dessine un trait lumineux très brillant qui est l'intersection par l'écran du faisceau réfléchi par la surface polie du cercle vertical LE . Soient SS' les traces sur l'écran du faisceau lumineux et de l'ombre. On les amène à coïncider par rotation de LE . On fixe aussitôt, à l'aide de la vis de pression, le mouvement autour de l'axe vertical; faisant alors tourner la lunette autour de son axe horizontal, on voit aussitôt apparaître sur l'écran la trace du faisceau solaire à travers la lunette. Fixant alors la vis de pression V' , on met l'oculaire solaire et avec les vis des petits mouvements, on amène le fil *horizontal* du réticule à être tangent à l'un des bords du soleil, tandis que le fil vertical passe par le point de contact, donc par le centre.

Connaissant la nature du bord visé, il est aisé d'en

déduire la hauteur du centre puisque le diamètre apparent est de 30'.

Seulement quand le prisme est orienté de façon quelconque, on ne sait pas *a priori* en regardant dans le champ, ni la nature des fils ni la nature des bords. Il suffira alors de se rappeler :

a) Qu'avant *midi* le soleil s'élevant, le sens de son mouvement dans le champ définit le bord *supérieur* ;

b) Que la vis de rappel *v'* créant les mouvements verticaux de l'axe de la lunette le fil perpendiculaire à la direction du déplacement dans le champ, quand on la fait mouvoir, est précisément le fil *horizontal*.

IV. Détails divers sur les réglages particuliers à cette étude. — 1^o PRÉCISION DE RÉGLAGE DU LIMBE HORIZONTAL SUR LA DIRECTION MIRE-AIGUILLE. — Des expériences maintes fois répétées m'ont montré que l'on pouvait reporter la direction mire-aiguille du trépied sur le cercle horizontal avec une précision de l'ordre du *décigrade* en plus ou en moins.

Je réglais ce cercle de façon que la direction en question correspondit au zéro de la graduation horizontale, je m'assurais de temps en temps que cette correspondance n'avait pas été altérée par les chocs.

Par exemple, dans l'expérience suivante j'amenais la direction mire-aiguille à passer par un point éloigné que je repérais ensuite avec la lunette. Je bougeais le trépied et recommençais le réglage :

1 ^{re} exp.	199,92	J'agis sur le cercle horizontal en le faisant tourner de 0,09 grade pour l'amener à 200 et je recommence	2 ^e exp.	199,96
	199,88			200,01
	199,94			199,98
Moy. :	199,91			199,98

Cette précision est naturellement très suffisante.

2^o PRÉCISION DE REMISE EN PLACE DU TRÉPIED DANS LES TROUS. — Il m'est arrivé pour me rendre compte de cette

précision de déterminer l'azimut et la hauteur du soleil plusieurs fois de suite en ôtant et remettant le trépied à chaque fois dans les trous sans toucher aux vis calantes du théodolite. Le réglage de la verticalité de l'axe ne subsistait pas en général rigoureusement, mais les positions du méridien déduites de ces diverses mesures différaient au plus d'un décigrade en plus ou en moins de la moyenne des mesures.

3^o DÉTERMINATION DU ZÉRO DU CERCLE VERTICAL. MIGRATION DE CE ZÉRO. — Il n'y a aucun avantage réel à faire coïncider les *zéro* du limbe et du vernier quand l'axe de la lunette est horizontal. Bien au contraire, le vernier étant maintenu dans sa position par des forces élastiques, l'expérience montre que sous l'influence de petits chocs répétés, de trépidations comme on en subit dans les automobiles qui font le service des localités de l'Etna ou même simplement à la suite du service journalier, ce vernier subit un déplacement régulier qu'il suffit de connaître pour pouvoir déterminer le vrai zéro. Il faut se garder d'agir sur la petite vis de réglage *u*, car en modifiant l'équilibre élastique actuel on ne pourrait que troubler la régularité du phénomène.



Fig. 32.

Voici un exemple de détermination de la correction :

Ognina, 23 septembre 1922. — Je vise les points A et B du paratonnerre d'une cheminée d'usine (fig. 32) :

Point A

Azimut = 90 g. Haut. = 5°17'.

Après rotation de 200 g. et retournement de la lunette, je constate que le point A retombe exactement dans le plan vertical que balaie l'axe optique, ce qui prouve que cet axe est bien *normal* à l'axe de rotation de la lunette :

Az. = 290 g. Haut. = 175°26'

Total 180°44'

La verticale se trouve donc à . . . 90°21'30"

et l'horizontale à 0°21'30"

Point B

Az. = 90	H = 5°33' à 34'
Az. = 290	H = 175°10'
Total . . .	180°43'

donc 0°21'30".

Voici maintenant les déterminations successives :

<i>Poitiers</i> , 29 août 1921 . . .	0°11'	Sept.-oct.-nov. 1921, 1 ^{er} voyage en Sicile.
<i>Paris</i> , février 1922 . . .	0°18'	
<i>Ognina</i> , 23 sept. 1922 . . .	0°21'30"	Sept.-oct.-nov. 1922, 2 ^e voyage.
<i>Giardini</i> , 3 nov. 1922 . . .	0°25'	
<i>Catane</i> , 28 nov. 1922 . . .	0°27'	
<i>Paris</i> , mai 1923 . . .	0°27'	

Pour le premier voyage, je ne soupçonnais pas cette migration du zéro et n'ai pas fait de mesures en Sicile. J'ai rap-

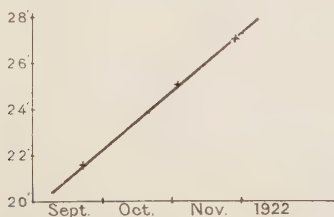


Fig. 33. — Déplacement de zéro de la graduation verticale.

porté la hauteur du soleil à un zéro moyen de 14'30" plus que suffisant étant donné la précision des mesures d'aimantation.

Pour le second voyage la droite ci-dessus a fourni l'origine aux diverses époques.

4° REPÉRAGE DE LA DIRECTION PIVOT-ZÉRO DU DÉCLINATOIRE SUR LE CERCLE HORIZONTAL. — Si pour une raison quelconque on est amené à démonter le déclinaire, il faut absolument

noter cette direction avant d'enlever le pivot et après l'avoir remis. On peut en effet tourner par inadvertance ce pivot de 180^0 , ce qui change complètement la direction en question, si la pointe est un peu inclinée comme dans le cas de la figure 34 (positions 1 et 2).



Fig. 34.

Pour mon appareil on passait de 398,5 à 399,3 par cette rotation du pivot.

C'est toujours avec la première position que j'ai travaillé.

La précision avec laquelle cette direction est repérée est un peu plus faible que celle de la direction mire-aiguille. Je procédais de la même façon dans les deux cas.

Exemple. — Dans quatre déterminations sur un point éloigné je trouve :

398,42 398,44 398,74 398,70.

A la suite d'expérience répétée j'ai été amené à *adopter* :

$398,6 \pm 0,15$ grade.

Dans tous les cas le déclinaire reposait sur la vis de butée Z.

5⁰ TARAGE DE LA DIVISION DU DÉCLINAIRE. — Il existe dans toutes les suspensions, avec chape et pivot, une indétermination des positions d'équilibre provenant de deux causes :

- a) Le frottement du pivot sur la chape ;
- b) L'impossibilité après soulèvement de remettre exactement l'aiguille dans la même position ou de la faire porter par le même point.

J'ai constaté que cette indécision était de l'ordre du *quart de grade* en plus ou en moins.

Puis j'ai cherché à tarer en grades la division du déclinaire. Je partais d'une position connue de l'aiguille, tournais le limbe horizontal qui porte le déclinaire d'un angle connu en grade et notais la nouvelle position. Comme le pivot au cours de ce mouvement se déplace dans l'espace, le

résultat dépend *essentiellement* de l'uniformité du champ et en particulier de la proximité d'objets en *fer*.

Ainsi en deux points distants de quelques mètres à l'intérieur du laboratoire j'ai obtenu les résultats suivants :

Division du limbe	Différence	Division du déclinatoire	Différence	Valeur de la division
<i>1^{er} point.</i>				
379,05		— 5		
367,1	11,95	+ 5,3	10,3	1,16
379,4	12,3	— 5,1	10,4	1,18
367,7	11,7	+ 5	10,1	1,16
379,24	11,54	— 5	10	1,154
367,7	11,54	+ 5,1	10,1	1,144
Moyenne =				1,16
<i>2^e point.</i>				
341,2		+ 4,9		
351,3	10,1	— 5,5	10,4	0,975
340,85	10,45	+ 5	10,5	0,995
351,3	10,45	— 5,3	10,3	1,015
340,9	10,4	+ 5,1	10,4	1,00
351	10,1	— 4,7	9,8	1,03
Moyenne =				1,00

La différence comme on le voit est très nette, quoique les déplacements de l'aiguille aimantée dans l'espace soient très très faibles ; il importe donc de faire ce tarage dans un champ bien uniforme, on trouve alors pour la division :

1,11 grade soit exactement 1 degré

les tableaux montrent avec quelle précision.

Comme pratiquement l'erreur sur le méridien géographique est tout à fait négligeable, la déclinaison peut être considérée comme connue avec une erreur possible de l'ordre de $\pm 0,5$ grade.

TROISIÈME PARTIE. — CALCUL NUMÉRIQUE DU MÉRIDIEN

Voici, par exemple, le détail des calculs pour l'un des blocs :

Bloc 22₁. — Mardi 25 octobre 1921.

Mesures faites à 8 h. 45' environ à Linguaglossa (bord supérieur solaire) :

$$\begin{array}{ll} 1^0 \left\{ \begin{array}{l} \text{Azimut} = 250,80 \text{ g.} \\ \text{Hauteur} = 26^041' \end{array} \right. & 2^0 \left\{ \begin{array}{l} \text{Azimut} = 248,98 \\ \text{Hauteur} = 27^047' \end{array} \right. \end{array}$$

LATITUDE :

$$\begin{array}{l} \text{Latitude déterminée sur la carte} = 37^050' \\ c = 52^010' \end{array}$$

DÉCLINAISON. — L'annuaire du bureau des longitudes me donne au 25 octobre 1921 à *midi* (temps légal) :

$$\text{Déclinaison solaire} = - 12^01'$$

$$\text{Différence avec la déclinaison au 24 octobre 1921, } \textit{midi} - 21'$$

Comme l'heure légale italienne avance d'une heure sur l'heure légale française, on voit que 8 h. 45' correspondent à 7 h. 45', ce qui me fournit pour la déclinaison à l'heure voulue et pour le *centre du soleil* :

$$\text{Déclinaison} = - 11^057', \quad a = 101^057'.$$

HAUTEUR. — Prenons la première mesure.

Les 26°41' sont à corriger.

a) Du demi-diamètre apparent du soleil pour rapporter au centre comme dans les tables de déclinaison, car les mesures ont été faites sur le bord supérieur du soleil. Cette correction est de 16' ;

b) De la position du zéro du vernier par rapport à l'horizontale, soit 14' à 15'.

Ces deux corrections s'ajoutent comme le montre la figure 35, soit 30'. D'où la hauteur cherchée :

$$\text{Hauteur} = 26^031', \quad b = 63^049'.$$

CALCULS :

$$\begin{array}{rcl}
 b & = & 63^{\circ}49' \\
 c & = & 52^{\circ}10' \\
 a & = & 101^{\circ}57' \\
 \hline
 2\ p & = & 217^{\circ}56' \quad p = 108^{\circ}58' \\
 \\
 p-b & = & 45^{\circ}9' \quad \text{Log sin } (p-b) = \bar{1},85062 \quad \text{Log sin } p = \bar{1},97576 \\
 p-c & = & 56^{\circ}48' \quad \text{Log sin } (p-c) = \bar{1},92260 \quad \text{Log sin } (p-a) = \bar{1},08692 \\
 p & = & 108^{\circ}58' \quad \text{somme} = 1,77322 \quad \text{somme} = 1,06268 \\
 p-a & = & 7^{\circ}1' \quad \text{0,93732} \quad \text{dont le colog vaut } 0,93731 \\
 \\
 \text{Log } \frac{\sin (p-b) \sin (p-c)}{\sin p \sin (p-a)} & = & 0,71054 \\
 \\
 \text{Log tg } \frac{A}{2} & = & 0,35527
 \end{array}$$

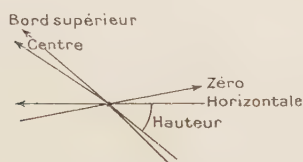


Fig. 35.

D'où :

$$\begin{array}{rcl}
 A & = & 147,08 \text{ grades} \\
 \left. \begin{array}{l} \text{Trace de l'extrémité de l'azimut} \\ \text{sur le limbe horizontal} \end{array} \right\} & = & 250,80 \text{ grades} \\
 \hline
 \text{Trace du méridien géographique} & = & 397,88
 \end{array}$$

Le second groupe de mesures fournit 397,94, ce qui me donne comme valeur moyenne :

$$\text{Méridien géographique} = 397,91 \pm 0,03.$$

PRÉCISION. — D'une façon générale en effectuant les mesures sans précautions particulières, on peut compter sur une erreur possible de 0,05 grade en plus ou en moins.

Nous reviendrons plus loin sur la coordination des diverses précisions.

Leur aspect et les régions utiles sont figurées ci-dessous (fig. 36) pour la Sicile et la période d'automne où je travaillais.

On se rendra compte aisément, avec les conventions de la

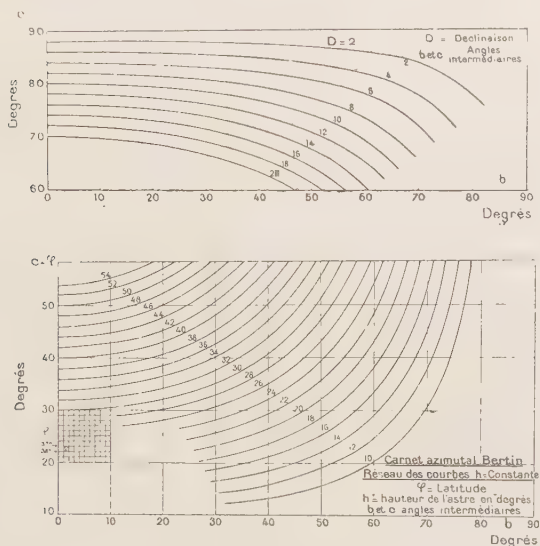


Fig. 36. — Réseaux des courbes $\mathcal{D} = \text{Cte}$ et $h = \text{Cte}$.

table, que $\mathcal{D}$ étant négatif dans cette période d'automne, il en est de même pour c , tandis que φ latitude *nord* est positif. Il faut tenir compte de ce fait que c et φ sont de signe *contraire* pour superposer les deux réseaux.

Comme φ pratiquement pour le massif de l'Etna est compris entre 37° et 38° , on amènera l'origine 60 du réseau ($\mathcal{D}$) entre 22° et 23° du réseau (h), puis par interpolation on évaluera le b correspondant à l'intersection des deux valeurs particulières de h et $\mathcal{D}$. La table donnera la valeur correspondante de l'azimut : en cherchant b dans la première colonne et h dans l'une de celles indiquées (b, h), Z_w complément de l'azimut Z se trouvera à côté.

EXEMPLE. — *Bloc 36.* — Linguaglossa (18 octobre 1922),
10 h. 1/2, bord supérieur solaire :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Az.} = 230,40 \text{ g.} \\ \text{Haut.} = 39^{\circ}12' \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Az.} = 228,98 \\ \text{Haut.} = 39^{\circ}37' \end{array} \right.$$

Correction de zéro et diamètre apparent = $40'$:

$$\begin{array}{lll} \text{Latitude} = & 37^{\circ}50', & \text{soit } 37,83 \\ \text{Déclinaison} = & - 9^{\circ}22', & \text{soit } - 9,35 \end{array}$$

Le parallélogramme qui contient les h et le $\mathfrak{D}$ est figuré

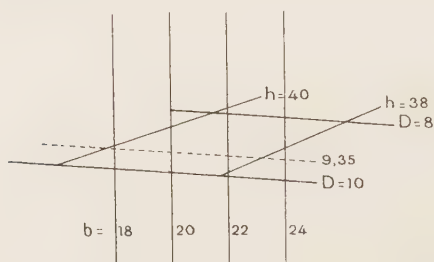


Fig. 37.

ci-contre (fig. 37) en vraie grandeur, mais le quadrillage millimétrique n'a pas été reproduit.

Il est aisé de repérer à la règle la courbe $\mathfrak{D} = 9,35$ ou de la tracer même sur une plaque de verre mince couvrant les réseaux superposés, ainsi l'on trouve :

$$\left\{ \begin{array}{lll} h_1 = 38^{\circ}32' (38,53), & b_1 = 22^{\circ}02, & Z_1 \omega = 61^{\circ}01, \quad \text{Azimut } Z_1 = 38^{\circ}09, \\ h_2 = 38^{\circ}57' (38,95), & b_2 = 21^{\circ}02, & Z_2 \omega = 62^{\circ}02, \quad Z_2 = 37^{\circ}08, \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{rcl} Z_1 = & 43,21 & Z_2 = 41,98 \text{ grades} \\ & 230,40 & 228,98 \\ \hline \text{Méridien :} & 187,19 & 187,00 \end{array}$$

soit $187,1 \pm 0,1$.

Une précision de l'ordre de 2 décigrades en plus ou en moins est celle que l'on peut attendre de cette méthode graphique. Elle est plus que suffisante pour ce genre d'étude.

Remarque. — Dans cette partie j'ai utilisé les notations du *Carnet azimutal* différentes des notations antérieures.

CHAPITRE V

Champ terrestre en terrain volcanique.

Généralités. Déclinaison vraie et déclinaison apparente. — Le but de ce chapitre est de montrer qu'en terrain volcanique la notion de déclinaison conserve un sens et que la moyenne des déclinaisons figées par un courant de lave représente la déclinaison régulière hors du massif à l'époque de la solidification, avec une approximation qui ne saurait masquer les variations séculaires.

On sait depuis fort longtemps que le champ terrestre en terrain volcanique varie de façon très irrégulière. Melloni cite les mesures de Peters ⁽¹⁾ pour le massif de l'Etna comprises entre 2°5' et 31°. Bien plus récemment (1905), B. Brunhes trouvait au sommet du Puy de Dôme des anomalies qu'il cherchait à interpréter par l'aimantation moyenne de la montagne. La déclinaison maximum à l'est, côté Clermont, où elle atteint 19°42', tombe à l'ouest à 10° seulement et varie régulièrement dans l'intervalle. Or, ces deux points extrêmes ne sont pas distants de plus de 250 mètres.

Etant donnée la grandeur de ces phénomènes, on comprend l'intérêt primordial qui s'attache à la question du champ en terrain volcanique. Si nos coulées se sont aimantées dans des champs où la déclinaison varie de 2° à 31°, quel sens pourrions-nous attribuer à l'orientation de cette aimantation ? N'est-il pas illusoire de vouloir retrouver les variations séculaires quand les variations locales les égalent en intensité ?

(1) Probablement l'astronome de Naples qui collabora avec WALTERSHAUSEN pour la rédaction de son atlas de l'Etna.

Dans le but de voir si vraiment ces anomalies rendaient toute interprétation impossible, j'ai fait une centaine de mesures de déclinaison sur tout le pourtour du massif de l'Etna et j'ai été frappé aussitôt du fait que les nombres obtenus dans un intervalle d'une centaine de mètres étaient aussi distants les uns des autres que de ceux obtenus à 50 kilomètres de là.

L'influence des masses aimantées très proches joue donc un rôle très supérieur à l'action globale du massif. Si d'ailleurs la surface aimantée affectait une forme géométrique au voisinage du point où l'on fait la mesure, on pourrait, de cette forme et des constantes magnétiques de la lave, déduire l'influence des masses proches et par suite arriver à la perturbation créée par la partie lointaine de la montagne. C'est cette déclinaison dépouillée de l'influence des masses voisines qui est seule intéressante par sa variation régulière et que l'on peut appeler déclinaison VRAIE en terrain volcanique.

Les mesures citées dans ce chapitre n'ont pas été faites dans des conditions permettant d'établir rigoureusement, point par point, les variations de cette déclinaison vraie. Le but était autre, puisqu'il s'agissait surtout de trouver quel sens on pouvait attribuer à la déclinaison figée dans les laves. On considérera donc ce chapitre comme surtout qualitatif. C'est une introduction à un travail plus précis et plus rigoureux sur les variations de la déclinaison vraie à la périphérie du massif, travail que j'ai l'intention d'exécuter à mon prochain voyage en Sicile.

Interprétation des mesures. — Notons d'abord que pour éviter les grandes anomalies magnétiques, les mesures ont été faites sur le pourtour extrême du volcan. Il en résulte, en même temps, que l'inclinaison du terrain en ces points était assez faible pour que nous puissions la négliger et raisonner, dans tout ce qui suit, sur un sol *horizontal*.

Ceci posé, il faudrait pour calculer l'influence des masses aimantées proches travailler au voisinage d'une surface géométrique. L'incohérence des résultats obtenus sur un sol en apparence horizontal, tient évidemment à l'action des blocs irréguliers que la terre recouvre et qui agissent à très petite distance. Ce sont les vallonements de cette surface aimantée et l'incohérence même de son aimantation (blocs renversés, redressés...) qui crée ces irrégularités.

Pour les faire disparaître, il faut absolument s'éloigner de

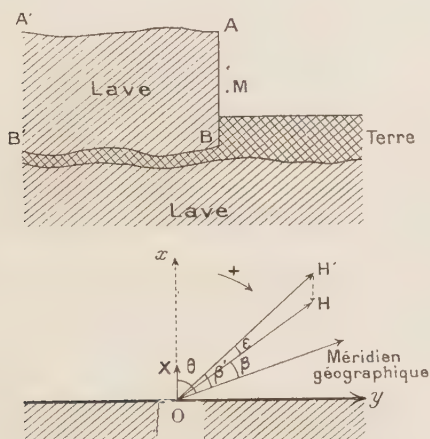


Fig. 38.

cette surface soit en s'élevant *dans l'air*, ce qui n'est pas très commode, soit en pénétrant dans la *masse aimantée* par une tranchée. Dans le premier cas, on a l'influence d'ensemble de la montagne. Dans le second, cette influence est modifiée par celle de la coupure qui est calculable. C'est dans ces conditions que nos déclinaisons ont été déterminées.

Pratiquement, les mesures se faisaient sur chaque échantillon de lave que l'on allait détacher. On se trouvait par conséquent en un point M, de hauteur variable, le long d'une

paroi verticale AB taillée dans la coulée. Admettons que ce point M soit suffisamment éloigné de AA', BB' pour que l'action de ces surfaces complexes puisse être remplacée par l'action de deux plans moyens. La forme de la surface au voisinage de M est alors assimilable à une marche d'escalier ⁽¹⁾ et la perturbation due aux masses aimantées proches est aisément calculable. Soit (fig. 38) :

Oy la trace horizontale de la paroi AB et O, la projection du point M où l'on effectue la mesure ;

β' , $\mathcal{H}'$ la déclinaison et le champ horizontal *apparents*, c'est-à-dire tels que nous les mesurons au voisinage de la paroi ;

β , $\mathcal{H}$ la déclinaison et le champ horizontal *vrais*, c'est-à-dire tels qu'on les mesurerait en s'élevant au-dessus du sol ⁽²⁾ ;

X le champ horizontal dû à la marche ;

θ l'angle de la normale à la paroi avec le méridien géographique.

On voit que $\mathcal{H}'$ résulte de la composition de $\mathcal{H}$ et de X en sorte que la correction à apporter à la déclinaison *apparente* β' pour obtenir la déclinaison *vraie* β est :

$$\varepsilon = \frac{X \sin (\theta + \beta')}{\mathcal{H}'} \quad \text{ou} \quad \frac{X \sin (\theta + \beta)}{\mathcal{H}} \quad (1)$$

avec

$$\beta = \beta' + \varepsilon$$

en comptant $\beta\beta'$ à partir du méridien *positivement* vers l'est (sens de la flèche), θ à partir de la normale et ε à partir de $\mathcal{H}'$.

(1) Cette marche est supposée indéfinie dans le sens de la normale à la figure.

(2) Cette déclinaison *vraie* dépouillée des influences locales immédiates, ne comporte plus que l'influence globale du massif. Elle varierait régulièrement comme celle trouvée par BRUNHES au sommet du Puy de Dôme.

Pour montrer, dans la suite, que cette déclinaison vraie varie peu et que la plus grande partie de la perturbation est due aux masses aimantées proches, nous n'effectuerons pas cette correction sur chaque mesure particulière pour *deux raisons* :

a) Parce que l'orientation θ de la paroi n'a pas en général été déterminée ;

b) Parce que la position du point M par rapport au plan de base est absolument inconnue.

Notre vérification portera donc sur des moyennes et sur la comparaison entre la répartition des déclinaisons mesurées et celle prévue en considérant ces mesures comme faites au voisinage de parois verticales d'orientations variées.

Dans une première partie nous allons chercher cette répartition théorique.

Dans une seconde nous montrerons comment la courbe obtenue rend compte de la répartition expérimentale.

Première partie. — Répartition théorique.

Soit (fig. 39) :

$\mathfrak{J}$ l'aimantation de la lave ;

i l'inclinaison de cette aimantation ;

α sa déclinaison comptée positivement vers l'est ;

θ l'angle du méridien avec la normale à la paroi ;

h_1 et h_2 les distances du point M aux plans horizontaux.

Les demi-plans AA' et BB' sont couverts d'une densité :

$$-\mathfrak{J} \sin i$$

et créent en M un champ :

$$2\mathfrak{J} \sin i \operatorname{Log}_e \frac{h_1}{h_2}.$$

Le plan AB, couvert d'une densité $\mathfrak{J} \cos i$, fournit en M la même composante qu'un plan indéfini, soit :

$$2\pi\mathfrak{J} \cos i \cos (\theta + \alpha).$$

Ce schéma n'est certes pas rigoureux, mais il donne l'allure générale du phénomène.

Ceci posé, considérons un grand nombre de parois telles que AB orientées de toutes les façons possibles par rapport au méridien géographique. Nous faisons, au voisinage de chacune d'elles, une mesure de déclinaison en un point équidistant des plans moyens de base, nous nous demandons :

1° Quelle relation lie la moyenne de ces mesures à la déclinaison vraie ?

2° Comment ces mesures se répartissent entre leurs valeurs extrêmes ?

Moyenne. — Pour traiter le premier point, nous supposons dans la relation (3) que i , β et α sont des constantes et nous les remplacerons par leur valeur moyenne.

Dès lors :

$$\beta = \bar{\beta}' + \bar{\varepsilon}$$

avec :

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \varepsilon d\theta = \frac{\pi \mathcal{I}}{\mathcal{H}} \cos i \sin (\beta - \alpha),$$

ce qui équivaut pratiquement à :

$$(4) \quad \beta = \bar{\beta}' + \frac{\pi \mathcal{I}}{\mathcal{H}} \cos i \sin (\bar{\beta}' - \alpha)$$

où $\bar{\beta}'$ est la moyenne des déclinaisons apparentes.

On voit que si $\bar{\beta}' - \alpha < 0$, ce qui sera le cas pour les coulées à forte déclinaison orientale que nous considérerons, la déclinaison vraie sera plus fortement occidentale que la moyenne des déclinaisons apparentes.

Répartition. — Cette seconde question exige au contraire que nous précisions comment i , β et α se répartissent autour

de leur valeur moyenne ; $\mathcal{H}$ et β champ et déclinaison *vrais* sont des constantes :

1^o Remarquons d'abord que pour l'inclinaison, les valeurs sont relativement serrées, puisqu'elles sont toujours comprises entre 50° et 60° ;

2^o Pour δ , l'expérience montre que dans la partie homogène de la coulée sa valeur varie peu, par exemple entre 0,007 et 0,009 C. G. S. Dans la partie poreuse, au contraire, elle atteint 0,012 et plus ;

3^o Pour α il est réparti pour une coulée donnée dans un intervalle d'une vingtaine de degrés qu'il remplit uniformément.

Continuant à donner à i sa valeur *moyenne*, nous traiterons seulement la répartition dans les deux cas simples suivants :

$$\begin{aligned} \delta & \text{ constant et } \alpha \text{ variable,} \\ \delta & \text{ variable et } \alpha \text{ constant,} \end{aligned}$$

pour montrer qualitativement l'origine des particularités de la courbe expérimentale.

Premier cas. — $\mathcal{I} = C^{\text{te}}$, α *variable*. — Considérons la relation :

$$\varepsilon = \frac{2\pi\delta}{\mathcal{H}\mathcal{C}} \cos i \cos (\theta + \alpha) \sin (\theta + \beta)$$

qui, dans le calcul de moyenne, ne dépendait que d'une variable indépendante θ , elle dépend maintenant de deux :

$$\alpha \text{ et } \theta.$$

A tout point M_1 du plan $\alpha\theta$ (fig. 40) correspond une valeur ε_1 de ε , c'est-à-dire une mesure de déclinaison. Je veux d'hypothèses sur la fréquence de α et θ tirer des conclusions sur la répartition de ε .

Or, j'admets que toutes les valeurs de θ sont également probables dans l'intervalle $0, 2\pi$ et de même pour les valeurs de α dans l'intervalle $\alpha'\alpha''$. C'est dire que je me donne une

répartition uniforme des points dans la zone hachurée et nulle en dehors de cette zone.

Le problème est alors le suivant :

Soit N le nombre total des points dans le rectangle $\alpha'\alpha''$, 02π et par suite soit :

$$dn = \frac{N}{2\pi(\alpha'' - \alpha')} d\alpha d\theta$$

le nombre de points compris dans l'élément d'aire $d\alpha d\theta$,

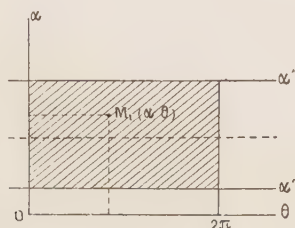


Fig. 40.

trouver combien de points sont compris entre deux courbes ε et $\varepsilon + \Delta\varepsilon$, dans la région intérieure au rectangle.

C'est une question de changement de variables dans une intégrale double ; nous donnerons simplement le résultat du calcul numérique.

Posant :

$$\varepsilon = m \cdot \frac{2\pi J}{\mathcal{H}C} \cos i.$$

Le nombre de mesures Δn , compris dans l'intervalle Δm , peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{\Delta n}{\Delta m} = \frac{9N}{2\pi^2} F(m),$$

où $F(m)$ est fourni par le tableau numérique suivant, calculé en prenant $\beta = -7^\circ$ comme déclinaison vraie :

$$\left. \begin{array}{l} \alpha' = 3^0 \\ \alpha'' = 23^0 \end{array} \right\} \text{ soit } 13^0 \text{ moyens}$$

ce qui correspond à nos mesures.

m	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$\frac{F(m)}{2}$		0,49	1,41	1,08	0,723	0,703	0,692	1,152	1,843	1	0

La chute est très brusque aux extrémités.

Deuxième cas. — $\mathcal{J}$ variable, α constant. — Cette fois c'est la répartition de $\mathfrak{J}$ que je me donne. Soit $\mathfrak{J}_0$ sa valeur moyenne. Posant :

$$\mathfrak{J} = x\mathfrak{J}_0,$$

j'ai maintenant comme variables indépendantes x et θ .

Dans les blocs de lave que j'ai rapportés les valeurs voisines de $\mathcal{J}_0$ étant de beaucoup les plus fréquentes, j'admets cette fois une répartition exponentielle :

$$dn = \frac{N}{2\pi\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{a} e^{-\frac{(1-x)^2}{a^2}} dx d\theta.$$

Avec $\frac{1}{a^2} = 4$ quand $\mathfrak{J}$ passe de $\mathcal{J}_0$ à $\frac{\mathcal{J}_0}{2}$, dn passe de 1 à $\frac{1}{e}$. Nous adopterons cette valeur numérique.

Le problème est alors identique au précédent.

Si l'on écrit :

$$\frac{\Delta n}{\Delta m} = \frac{N}{\pi\sqrt{\pi}} F(m).$$

La fonction F est fournie par le tableau suivant calculé encore en prenant :

$$\beta = -7^{\circ}, \quad \alpha = +13^{\circ}.$$

m	-0,6	-0,4	-0,2	0	+0,2	+0,4	0,6	0,8	1	1,2
$\frac{100}{n} F(m)$	3,85	87,5	183,9	0	136,5	137,7	114,7	62	18,9	3,9

Deuxième partie. — Résultats expérimentaux.

Le tableau 1 fournit en grades les déclinaisons obtenues sur les coulées à déclinaison figée *orientale* 1284, 1329, 1381, 1556, Sona, Aci Castello.

Les nombres sont compris dans un intervalle plus serré que celui indiqué par Peters. Il faut, en effet, éviter le voisinage de *punti distinti* où le champ prend une orientation sans rapport avec le champ régulier.

Toutes les mesures sauf trois, trois isolées, se groupent entre -4 grades et $+13$ grades au lieu de 25 et 31° . Ces limites anciennes sont plus *occidentales*, la déclinaison depuis les mesures de Peters ayant décréu de 7° à 8° .

Si l'on fait de plus la moyenne pour une même coulée, on constate que l'ensemble des moyennes est encore beaucoup plus serré. Limitons-nous à celles qui portent sur un grand nombre de mesures, nous trouvons comme valeurs extrêmes 2 et 6 grades occidentaux, la valeur régulière hors du volcan étant de l'ordre de 7 *grades*.

Ces moyennes d'ailleurs semblent varier régulièrement quand on se déplace du nord au sud du volcan, comme le montre la carte (fig. 41) qui semble indiquer une croissance du sud au nord. Elles donnent l'allure de l'action globale du massif.

TABEAU I
Déclinaisons exprimées en grades occidentaux.

1284 (Zafferana) $\alpha = 8$ g. or.			Sona $\alpha = 10,4$ g. or.			Aci Castello $\alpha = 8,3$ g. or.		
Région	N° du bloc	Déclinaison	Région	N° du bloc	Déclinaison	Région	N° du bloc	Déclinaison
Ballo	14 ₁	3	Ferro Cavallo	45	6	Ligne	9 ₁	2,2
	15 ₁	3,9		46	0,9		11 ₁	— 1,1
Monacella	17 ₁	6	Casa operai				12 ₁	— 2,1
	18 ₁	3,7	stradali	47	2,6		13 ₁	— 1,6
Carrière				48	0,7			
Nicolosi	26	— 0,9		49	6			
	27	+ 2,8	Difesa	50	— 2,6			
	29	10		51	6,4			
	30	9,7		52	1,5			
Total (8)		+ 38,2	Total (8)		+ 21,5	Total (4)		— 2,6
Moyenne		4,8	Moyenne		2,7	Moyenne		— 0,6
1329 $\alpha = 11,5$ g. or.			1381 $\alpha = 18,5$ g. or.			1566 $\alpha = 13,5$ g. or. Linguaglossa		
Région	N° du bloc	Déclinaison	Région	N° du bloc	Déclinaison	Région	N° du bloc	Déclinaison
La Guardia	15	8,3	Ognina (1)	2	3,8	Gare (1)	23 ₁	0
	17	10		3	1,2		24 ₁	1,1
	18	2,6		4	5,8	(2)	20 ₁	4,1
Linera	19	1		5	2,9		21 ₁	5,3
	20	— 0,5	(2)	6	0,1		22 ₁	2,1
	21	3,2		8	3,3	(3)	38	9,3
	22	1,3		7	0,6		39	8,7
Fléri	31	10,2	(3)	5 ₁	3,4		40	9,2
	32	9,1	(4)	7 ₁	0,3		35	10,3
				6 ₁	— 7,4	Teleferique	36	13,7
			Barriera	12	4,8		37	3,2
				13	— 3,6	Cimetière	41	7,8
				14	— 0,3		42	9,4
			Gravina	9	2,9		43	3,9
				10	2		44	0,5
				11	11,7			
Total (9)		45,2	Total (16)		31,5	Total (15)		88,6
Moyenne		5,02	Moyenne		2	Moyenne		5,9

Nombre total des mesures = 60
Moyenne des déclinaisons = 3,7 grades occ.

Nota. — La déclinaison figée par la lave est désignée par α . Sa valeur moyenne est $\alpha_m = 13$ grades (12,8).

Comparons maintenant ces résultats expérimentaux, aux schémas théoriques antérieurs, en nous souvenant que nos



Fig. 41. — Déclinaisons moyennes occidentales mesurées sur le pourtour de l'Etna.

hypothèses simplificatrices ne nous permettent d'interpréter que l'allure des phénomènes.

A) Moyennes. — Si $\bar{\beta}'$ est la moyenne des déclinaisons sur une coulée et β la déclinaison vraie, nous avons trouvé :

$$\beta = \bar{\beta}' + \frac{\pi \mathcal{J}}{\mathcal{H}} \cos i \sin (\bar{\beta}' - \alpha) \text{ radians.}$$

Nous verrons plus loin que :

$\mathcal{J}$ est toujours voisin de 0,0085 C. G. S.

i de 55°

$\mathcal{H}$ de 0,25 gauss

en sorte que, on a sensiblement en GRADES :

$$\beta = \bar{\beta}' + 4 \sin (\bar{\beta}' - \alpha).$$

Prenons les coulées extrêmes :

1381	$\bar{\beta}' = - 2$	$\beta = - 3,4$	grades orientaux,
	$\alpha = 18$		déclinaison au <i>sud</i>
1566	$\bar{\beta}' = - 5,9$	$\beta = - 7,3$	grades orientaux,
	$\alpha = 14$		déclinaison au <i>nord</i> .

Les déclinaisons vraies ont donc même allure de variation que les moyennes expérimentales, le terme correctif restant faible. *Elles croissent régulièrement du sud au nord*. Mais on voit qu'elles se rapprochent des *7 grades occidentaux* hors du massif et que si la moyenne des déclinaisons figées par les laves coïncide avec la déclinaison vraie dans la région du massif où elles se solidifient, cette moyenne représente à quelques grades près la déclinaison hors du massif.

B) Chaque groupe de mesures effectuées sur une seule coulée devrait, en supposant les circonstances de mesure très variées, admettre une courbe de répartition à deux maxima étalée sur un intervalle d'une douzaine de grades. C'est ce que l'on a qualitativement. Mais le nombre des mesures étant beaucoup trop restreint pour chaque coulée et, d'autre part, l'intervalle de *4 grades* entre les déclinaisons vraies extrêmes du massif, n'étant pas très grand par rapport à l'intervalle de 18 grades des déclinaisons mesurées, on conçoit que la courbe de répartition *générale* des déclinaisons mesurées sur toutes les coulées orientales, sans distinction de lieu, conserve les caractères généraux (amplitude et deux maxima). C'est cette courbe que nous allons comparer aux résultats théoriques.

C) **Amplitudes.** — Rappelons que ε étant la perturbation de la paroi, la variable m qui figure dans les tableaux est définie par :

$$\varepsilon = m \cdot \frac{2\pi\beta \cos i}{\beta c} \text{ radians,}$$

soit avec les quantités numériques précédentes :

$$\varepsilon = 7,8.m \text{ en grades.}$$

Remarquons d'abord que l'amplitude de répartition qui en résulte sera pour :

$$\begin{aligned} \mathcal{J} &= C^{\text{te}} \quad \alpha = \text{variable}, \quad m = 1,3, & \text{Amplitude} \\ & & \text{de variation de } \varepsilon = 10 \text{ g.} \\ \mathcal{J} &= \text{var.} \quad \alpha = C^{\text{te}}, \quad m = 1,8, & \text{Amplitude} = 14 \text{ g.} \end{aligned}$$

L'amplitude de répartition générale de 18 *grades* est un peu supérieure; c'est naturel puisqu'il y a un flottement de

Repartition des
mesures de déclinaison
pour les roches orientales
(unités arbitraires)

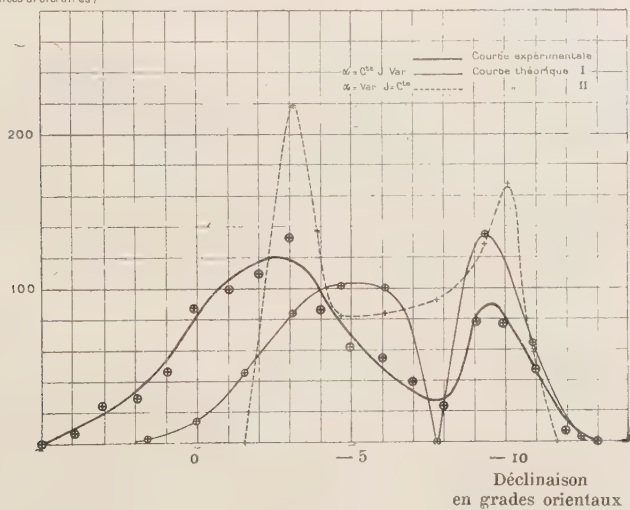


Fig. 42.

4 *grades* sur les déclinaisons vraies, ce qui tend à étaler la courbe précisément de 4 *grades*.

D) La figure 42 montre la comparaison entre les courbes théoriques et la courbe expérimentale ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Cette courbe expérimentale est construite avec les données du tableau 1. L'ordonnée au point d'abscisse 1 grade occ., par exemple, est proportionnelle au nombre de mesures de déclinaisons comprises dans ce tableau entre 0 et 2 grades occ.

Les courbes théoriques sont construites en prenant pour $\frac{2\pi\delta \cos i}{\mathcal{H}}$ la valeur expérimentale de $7,8 \text{ grades}$, ce qui définit l'unité d'abscisse.

La déclinaison non troublée est fixée à -7° , soit $7,77 \text{ grades}$, ce qui fixe l'origine.

Enfin, la condition que l'aire de ces courbes soit celle de la courbe expérimentale, c'est-à-dire que le nombre total des mesures soit le même dans tous les cas, détermine l'unité d'ordonnée.

Le calcul de ces deux courbes théoriques a été fixé antérieurement.

On remarque immédiatement l'analogie d'allure :

1^o Les courbes théoriques sont calculées en admettant une déclinaison invariable de $7,8 \text{ grades}$ troublée par la paroi voisine, sans influence globale du massif. On voit que l'on arrive ainsi à expliquer la plus grande part du phénomène. Cette valeur de $7,8 \text{ grades}$ est voisine de la déclinaison actuelle à une vingtaine de kilomètres du massif.

2^o Toutefois, ces courbes théoriques sont un peu *plus serrées* que la courbe expérimentale. C'est en cela que se fait sentir l'influence globale du massif, qui du nord au sud trouble de quelques grades la déclinaison de base, à partir de laquelle nous comptons les perturbations dues aux parois. Ce trouble consistant surtout en un décalage vers l'est, cela explique l'étalement de la courbe réelle exclusivement du côté des déclinaisons orientales.

3^o D'ailleurs, on remarquera que conformément à la théorie et indépendamment de cette influence globale, les déclinaisons perturbées s'étendent à partir de la déclinaison vraie environ deux fois plus du côté oriental que du côté occidental.

4^o Les trois courbes présentent deux maxima et la courbe expérimentale est intermédiaire entre les deux théoriques, en ce sens que :

a) Le maximum oriental est plus développé que l'occidental comme dans la courbe théorique II ;

b) Mais le minimum intermédiaire est très accusé comme dans la courbe I et d'ailleurs la forme générale en est plus voisine.

Ce résultat se comprend si l'on pense que α et $\mathcal{J}$ sont en réalité variables en même temps et que les hypothèses faites pour obtenir les courbes I et II sont naturellement bien simples.

Conclusion.

Les perturbations de déclinaisons sur le pourtour du massif peuvent être décomposées en deux éléments. La plus grosse partie tient aux masses aimantées proches, c'est la perturbation locale qui pour nos coulées orientales atteint une amplitude de 12 à 14 *grades* et qu'on peut éliminer par moyenne en utilisant certaines corrections.

Cette perturbation étant écartée, il reste une perturbation régulière provenant de l'action globale du massif, qui varie d'environ 4 *grades* quand on passe du sud au nord, en sorte que la déclinaison vraie passe de 3,4 gr. occ. vers Catane à 7,3 gr. occ. vers Linguaglossa, la déclinaison hors du massif étant de 7 *grades* environ, à quelques dizaines de kilomètres du volcan.

Nous admettons que la moyenne des déclinaisons figées par les laves représente la déclinaison vraie en un point, c'est-à-dire que les moyennes éliminent les perturbations locales. Il reste bien la perturbation globale, mais sa valeur actuelle est trop incertaine. J'ai montré qu'elle était petite (de l'ordre de 4 *grades* au plus), en sorte qu'elle ne saurait masquer les variations séculaires de la déclinaison qui atteignent 30° d'amplitude, surtout si l'on pense que cette perturbation globale est toujours de même sens en un point donné.

Nous la négligerons donc et admettrons que la moyenne des déclinaisons figées par un courant de lave, représente la déclinaison régulière hors du massif à l'époque où la lave s'est solidifiée ; ce chapitre montre que cette approximation a bien un sens.

CHAPITRE VI

Mesure par induction des petites aimantations.

Méthodes magnétométriques et méthodes d'induction.

Toutes les mesures d'aimantation de roches ont été faites par voie magnétométrique. On ne croyait pas que les méthodes d'induction pussent atteindre une sensibilité suffisante, pour être utiles dans ce genre d'étude. Il est aisé, en effet, de se rendre compte de l'extrême sensibilité du magnétomètre.

Soit $ABCD, A'B'C'D'$ le parallélépipède aimanté (fig. 43),

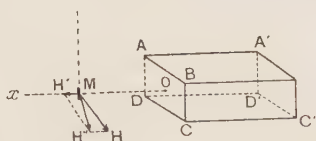


Fig. 43.

et M le petit aimant du magnétomètre placé sur la normale Ox à la face $ABCD$ en son centre.

Soient :

$\mathcal{H}$ le champ directeur normal à Ox ;

$\mathcal{H}'$ le champ suivant Ox créé par le parallélépipède, supposé uniforme dans la région où se meut M ;

$\mathcal{H}''$ le champ résultant ;

ω et ω' les angles solides sous lesquels on voit de M les faces $ABCD, A'B'C'D'$;

δ l'intensité d'aimantation supposée uniforme.

On a immédiatement :

$$\mathfrak{H}' = \mathfrak{H}_x(\omega - \omega')$$

et pour l'indication du magnétomètre :

$$\alpha = \frac{\omega - \omega'}{\mathfrak{H}} \cdot \mathfrak{H}_x.$$

S'il s'agit d'un *cube*, par conséquent, les mesures faites dans les mêmes conditions pour les trois directions de faces, fournissent les trois composantes de l'aimantation. C'est la méthode utilisée par Brunhes avec une distance OM très faible.

Les deux cas extrêmes sont les suivants :

1° M est très voisin de ABCD et le parallépipède est très allongé :

$$\alpha_1 = \frac{2\pi}{\mathfrak{H}} \mathfrak{H}_x.$$

Un cube dans les mêmes conditions donnerait à peu près :

$$\alpha_1 = \frac{2\pi - 1}{\mathfrak{H}} \cdot \mathfrak{H}_x \quad (\omega' \text{ voisin de } 1).$$

2° La distance AA' est petite par rapport à OM = r . Si l^3 est alors le volume du cube équivalent :

$$\alpha_2 = \frac{2}{\mathfrak{H}} \left(\frac{l}{r} \right)^3 \mathfrak{H}_x.$$

Remarquons d'abord que nous pouvons compenser le champ terrestre à l'aide d'un aimant ; on arrive, par exemple, sans difficulté à réduire le champ directeur au $1/16$ de sa valeur initiale atteignant ainsi $\mathfrak{H} = \frac{1}{80}$, soit à peu près $\frac{1}{100}$ de gauss.

Plaçons-nous dans le premier cas extrême, le cube de lave

touchant presque le barreau du magnétomètre, nous obtiendrions 1 mm. à 1 mètre avec :

$$\mathcal{J}_x = 2.10^{-6} \text{ C. G. S.},$$

soit une aimantation 4000 fois plus petite que l'aimantation normale des laves.

Mais diverses raisons rendent ces mesures à faible distance difficilement interprétables :

1° La non-uniformité de l'aimantation des blocs : les masses voisines jouent un rôle prépondérant et ce n'est pas le $\mathcal{J}_x$ moyen que l'on mesure ;

2° Il y a à faible distance induction mutuelle entre l'aiguille et le bloc, ce qui peut changer la position d'équilibre de l'aiguille, au point qu'une répulsion à quelques centimètres devienne une *attraction* à quelques millimètres, comme l'a montré Melloni.

Il faut donc se placer à quelques centimètres *au moins*, comme faisait Brunhes, ce qui n'empêche pas d'ailleurs d'atteindre la même sensibilité limite, à condition de prendre un cube assez grand.

L'indication du magnétomètre décroissant d'ailleurs très vite, on voit aussi que malgré la sensibilité on ne peut pas travailler dans des conditions où la lave serait considérée comme un aimant très petit. Avec $\frac{l}{r} = \frac{1}{10}$ elle est réduite

à $\frac{1}{2500}$ de sa valeur. Il faudrait $\mathcal{J} = 50.10^{-4}$, c'est-à-dire l'aimantation des laves pour atteindre le millimètre à un mètre. Ces indications seraient insuffisantes.

En résumé, avec des cubes de 5 cm. de côté, placé à 4 cm. environ de l'aiguille, on travaillerait dans les meilleures conditions, pour rendre compatible la sensibilité avec la correction des mesures. Cette sensibilité serait alors voisine de :

$$\alpha_1 = 100 \mathcal{J}_x.$$

Une lave normale de 80.10^{-4} C. G. S. fournirait 80 cm. de déviation à 1 mètre. Il faudrait $\frac{1}{10}$ de mètre cube pour atteindre un moment fournissant la même impulsion au balistique dans les conditions qui seront exposées plus loin.

Mais en dehors de cette sensibilité *extrême* la méthode magnétométrique offre deux désavantages sérieux :

1^o L'un est inhérent au travail à l'intérieur des villes. Le champ terrestre n'y a pas de valeur définie ni d'orientation déterminée, en sorte que la compensation y est impossible, l'appareil n'a pas de zéro ;

2^o Les échantillons doivent être taillés en *bons cubes*, ce qui est un travail considérable.

Avec les méthodes d'induction on peut travailler sur des échantillons de *forme absolument quelconque* et les inconvénients du champ magnétique variable peuvent être assez facilement surmontés.

C'est pour ces deux raisons qui, à l'expérience, ont paru fondamentales, que nous avons cherché à effectuer les mesures par induction.

Méthode balistique.

Principe. — Considérons un cadre plan circulaire, placé verticalement, et introduisons la substance aimantée dans la portion d'espace voisine du centre où le champ peut être considéré comme uniforme. Fermons le cadre sur un galvanomètre balistique et retirons-la brusquement. Le galvanomètre accuse le passage d'une certaine quantité d'électricité qui s'annule quand le moment magnétique de la substance est dans le plan des spires. Il suffit de déterminer ainsi, dans la lave, deux plans contenant ce moment pour avoir la direction de l'aimantation dans l'espace. Comme pratiquement le plan des spires est vertical, la substance aimantée est mobile autour d'un axe vertical et l'on peut mesurer

l'impulsion pour les divers azimuts ζ où on la place initialement, avant de lui faire subir la translation.

On se souvient que sur chaque bloc, on a repéré un plan horizontal P de la coulée en place. Une première série de mesure est faite avec ce plan P effectivement horizontal, ce qui donne la direction de la composante du moment située dans ce plan. Une seconde série avec ce plan P *vertical* et la composante précédente horizontale, ce qui donne la direction du moment dans l'espace.

Considérons la première position ; soit ζ l'angle de la composante horizontale $\mathcal{M}$ du moment avec le plan des spires, le flux à l'origine est :

$$\Delta\mathcal{F} = K\mathcal{M} \sin \zeta \quad \text{ou} \quad K\mathcal{M}\zeta$$

au voisinage de l'impulsion nulle ($\zeta = 0$), avec $K = \frac{2\pi m}{R}$ dans le cas d'un cadre circulaire. Comme l'impulsion est proportionnelle à $\Delta\mathcal{F}$, elle est donc proportionnelle à ζ de part et d'autre du zéro et on l'obtient par moyenne, c'est-à-dire par intersection de la droite des impulsions avec l'axe des ζ .

REMARQUE 1. — J'ai cherché empiriquement dans quelle portion d'espace, avoisinant le centre, il fallait placer la substance aimantée uniformément pour avoir des résultats bien définis. Dans le cas des bobines AB de rayon 25 cm., dont nous parlerons plus loin, j'ai constaté qu'il suffisait de ne pas s'approcher de plus de 12 cm. environ des spires. Quand on s'éloigne de 10 cm. du centre, le champ croît seulement d'un dixième. La figure 44 montre, pour les bobines en question, la variation d'impulsion, fournie par un petit aimant, quand on s'éloigne du centre. Elle donne également la position moyenne du bloc, dans les conditions les moins avantageuses. On remarquera que le décentrage influe bien plus rapidement sur le nombre trouvé pour le moment magnétique que sur la position du zéro. Toutefois, si l'on

s'approchait à quelques centimètres des spires, les résultats obtenus n'auraient aucun sens.

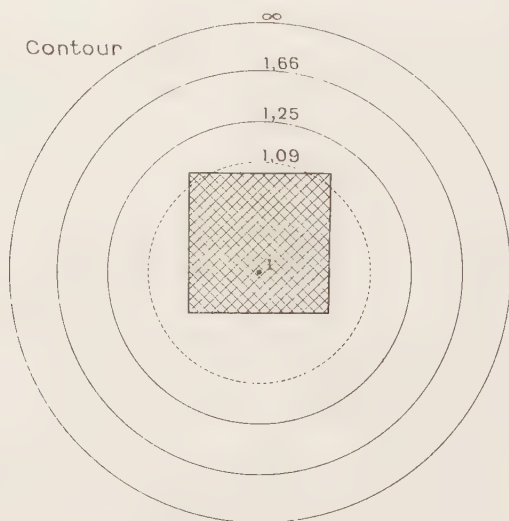


Fig. 44. — Disposition relative du bloc de lave et du contour de la bobine.

REMARQUE 2. — Le plan des spires, identique au plan des joues de la bobine était reporté sur la lave à l'aide d'une règle plate.

Liaison entre le repérage géographique et l'aimantation mesurée au laboratoire. — **DÉCLINAISON.** — Le bloc à étudier fixé sur le chariot (page 112) et réglé pour l'horizontalité est orienté de façon que son aimantation soit dans le plan des spires. Comment rapporter ce plan des spires au méridien géographique ci-dessus repéré ?

On amenait d'abord un petit miroir à être invariablement parallèle à ce plan que l'on supposait identique au plan des joues, les bobines ayant été construites avec le plus grand soin. Puis on réglait un collimateur normalement à ce miroir

en faisant coïncider le faisceau de retour avec le faisceau d'aller réduit à une nappe verticale de rayons.

On plaçait alors sur le bloc, l'ensemble du trépied et du théodolite réglé. On visait le collimateur, on repérait ainsi sur le cercle horizontal la normale au plan des spires, donc la trace du plan vertical contenant l'aimantation. Comme on avait sur le même cercle la trace du méridien géographique on en déduisait aussitôt la *déclinaison*.

INCLINAISON. — Le plan antérieurement horizontal est maintenant vertical et l'aimantation est elle-même horizontale. Cette fois le plan origine est matérialisé sur le bloc, il n'y a aucune difficulté à mesurer l'inclinaison sur le cercle gradué portant ce bloc.

PREMIÈRE PARTIE. — SENSIBILITÉ

Négligeons le frottement visqueux en circuit ouvert devant le frottement d'origine électrique en circuit fermé, ce dont nous montrerons la légitimité plus tard.

L'équation du mouvement du cadre d'un galvanomètre fermé sur une résistance r ohms, galvanomètre compris, s'écrit avec les notations connues :

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + 10^{-9} \frac{n^2 S^2 H^2}{r} \frac{d\theta}{dt} + C\theta = 0.$$

Supposons que $e^{\omega t}$ soit solution, ω satisfait à l'équation :

$$(1) \quad I\omega^2 + 2 \frac{r_c}{r} \sqrt{IC} \omega + C = 0$$

en introduisant la résistance critique :

$$r_c = 10^{-9} \frac{n^2 S^2 H^2}{2\sqrt{IC}}.$$

Soient ω_1 et ω_2 les deux solutions (négatives, $|\omega_2| > |\omega_1|$),

désignant par λ le rapport des racines $\lambda = \frac{\omega_2}{\omega_1}$, cette quantité satisfait à la relation :

$$(2) \quad \lambda - 2 \frac{r_c}{r} \sqrt{\lambda} + 1 = 0$$

qui ne dépend plus que du rapport $\frac{r_c}{r}$ et où nous convenons de ne considérer que la racine plus grande que l'unité.

Le galvanomètre étant au *repos* $\theta = 0$, produisons dans le circuit extérieur une variation de flux $\Delta \mathcal{F}$; une quantité d'électricité :

$$q = 10^{-8} \frac{\Delta \mathcal{F}}{r}$$

traverse le circuit et le cadre prend instantanément une vitesse angulaire :

$$\left(\frac{d\theta}{dt} \right)_0 = \frac{nSH}{10 I} q = 10^{-9} \frac{nSH}{I} \frac{\Delta \mathcal{F}}{r} .$$

Dans le *cas aperiodique* un calcul classique conduit pour l'élongation maximum à l'expression :

$$\theta_m = \left(\frac{d\theta}{dt} \right)_0 \frac{1}{\omega_1 - \omega_2} (\lambda - 1) \lambda^{\frac{\lambda}{1-\lambda}}$$

Mais comme (1) fournit :

$$\omega_1 - \omega_2 = 2 \sqrt{\frac{C}{I}} \sqrt{\left(\frac{r_c}{r} \right)^2 - 1} .$$

L'expression de θ_m prend la forme :

(3)

$$\theta_m = \frac{\Delta \mathcal{F}}{nSH} \Phi \left(\frac{r_c}{r} \right)$$

La fonction Φ étant fournie par l'expression :

$$(4) \quad \Phi\left(\frac{r_c}{r}\right) = \frac{r_c}{r} \frac{(\lambda - 1)\lambda^{\frac{\lambda}{1-\lambda}}}{\sqrt{\left(\frac{r_c}{r}\right)^2 - 1}}$$

avec :

$$\lambda - 2\left(\frac{r_c}{r}\right)\sqrt{\lambda} + 1 = 0.$$

Dans le cas *périodique* λ devient imaginaire ; l'expression de Φ change, mais θ_m continue à conserver la forme (3).

L'expression nouvelle est :

$$(5) \quad \Phi\left(\frac{r_c}{r}\right) = 2 \frac{r_c}{r} \exp\left(-\frac{\arctg \sqrt{\left(\frac{r}{r_c}\right)^2 - 1}}{\sqrt{\left(\frac{r}{r_c}\right)^2 - 1}}\right)$$

CALCUL NUMÉRIQUE DE $\Phi\left(\frac{r_c}{r}\right)$. — Voici les développements en série qui permettent le calcul de Φ pour les valeurs très grandes ou très petites de $\frac{r_c}{r}$.

Pour les valeurs moyennes on utilisera l'expression (5) jusqu'à $\frac{r_c}{r} = 1$ et (4) au delà.

a) $\frac{r_c}{r}$ très petit. — On a :

$$\frac{\arctg \sqrt{\left(\frac{r}{r_c}\right)^2 - 1}}{\sqrt{\left(\frac{r}{r_c}\right)^2 - 1}} = \frac{\pi}{2} \frac{r_c}{r} - \left(\frac{r_c}{r}\right)^2 \text{ au troisième ordre près}$$

ce qui donne numériquement pour Φ au quatrième ordre près :

$$\Phi\left(\frac{r_c}{r}\right) = 2 \frac{r_c}{r} - \pi \left(\frac{r_c}{r}\right)^2 + 4,47 \left(\frac{r_c}{r}\right)^3.$$

Il est aisé de voir que déjà pour $\frac{r_c}{r} = 0,2$ le terme du troisième ordre, atteint le dixième du terme du premier ordre.

Cette relation n'est donc valable qu'au voisinage immédiat de l'origine.

b) $\frac{r_c}{r}$ très grand. — Au second ordre près on peut écrire :

$$\lambda = 4 \left(\frac{r_c}{r} \right)^2.$$

Développant alors la partie holomorphe de Φ :

$$\Phi \left(\frac{r_c}{r} \right) = \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{r_c}{r} \right)^2 \right] \cdot \mathbf{E}^{\frac{\text{Log } \lambda}{1 - \lambda}}.$$

L'exponentielle présente un point singulier pour $\frac{r_c}{r}$ donc λ infini. Elle tend d'ailleurs vers l'unité puisque $\frac{\text{Log } \lambda}{\lambda}$ tend vers 0, en sorte que $\Phi \left(\frac{r_c}{r} \right)$ tend asymptotiquement vers 1 quand $\frac{r_c}{r}$ croît indéfiniment.

Voici les valeurs numériques de Φ :

$\frac{r_c}{r}$	0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,447	0,5	0,75	1	1,511	1,805	2,83	∞
Φ	0	0,092	0,172	0,311	0,403	0,512	0,545	0,647	0,738	0,832	0,853	0,915	1

Sensibilité limite. — Séparant dans r la résistance du galvanomètre r_g et la résistance des bobines r_c , on peut écrire :

$$\sqrt{2 \cdot 10^9} \theta_m = \frac{\Delta \mathcal{F}}{\sqrt{r_c}} \frac{\sqrt{\frac{r}{r_c}} \Phi \left(\frac{r_c}{r} \right)}{\sqrt{1 + \frac{r_g}{r_c}}} \cdot \frac{1}{\sqrt[4]{1C}} \quad \begin{matrix} 1 & 2 & 3 \end{matrix}$$

FACTEUR 2. — Il dépend à la fois des bobines et du galvanomètre.

Le numérateur est maximum et vaut 0,765 quand $\frac{r_c}{r} = 0,48$ (soit à peu près $\frac{1}{2}$) (fig. 45). On a en ce point :

$$\Phi' = \frac{\Phi}{2 \frac{r_c}{r}}$$

ce qui annule la dérivée.

Le facteur 2 atteint donc au plus 0,765 quand r_g est négli-

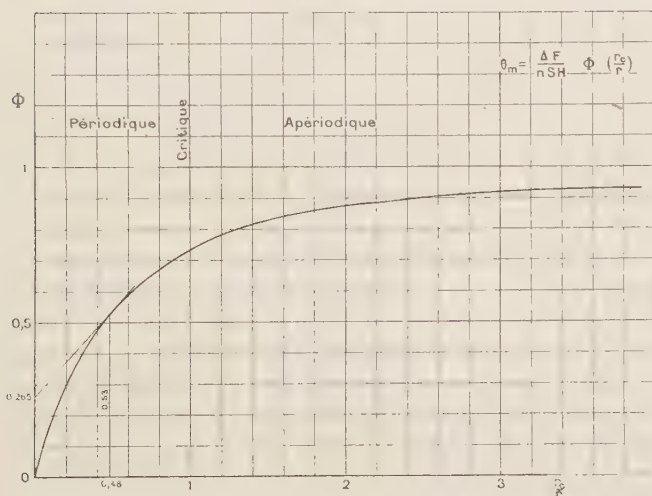


Fig. 45. — Impulsions balistiques pour une résistance variable du circuit total.

geable devant r_e ; pratiquement il est difficile d'amener r_g à une valeur très inférieure à $\frac{r_e}{5}$, ce qui amène ce facteur aux $\frac{9}{10}$ de sa limite, soit 0,688. Adoptons cette valeur nous

devons satisfaire à deux conditions :

$$r_e = \frac{3}{5} r_g.$$

$$r_g = \frac{1}{5} r_e.$$

FACTEUR 1. — Il ne dépend que du circuit extérieur.

S'il s'agit d'une bobine circulaire de rayon R de m spires, le fil ayant une section s , une résistivité ρ :

$$\frac{\Delta \mathcal{F}}{\sqrt{r_e}} = \frac{\sqrt{2\pi} \cdot \mathcal{M}}{R^2 \sqrt{\rho}} \sqrt{sm}.$$

Ce facteur croît indéfiniment avec s et m .

Mais pratiquement avec un fil de cuivre, 1000 spires et 10 ohms sont la limite de ce qu'on peut atteindre.

On les réaliserait, par exemple, avec deux bobines de 20 ohms et 1000 spires, montées en dérivation. Chaque bobine de 25 cm de rayon, porterait 25 kg. de fil de 1,4 mm. de diamètre.

Adoptons ces nombres limites, il vient pour le galvanomètre :

$$r_e = 6 \text{ ohms}, \quad r_g = 2 \text{ ohms}.$$

FACTEUR 3. — Il ne dépend que du galvanomètre.

Pratiquement la limite de C est 0,1 dyne-cm., comme la période doit être d'au moins 11 secondes (balistique), I ne peut descendre au-dessous de 0,3 C. G. S. :

$$IC = 0,03, \quad \sqrt{IC} = 0,173, \quad \sqrt[4]{IC} = 0,416.$$

Ce facteur 3 vaut donc au plus 2,4 :

$$\begin{aligned} \text{Sensibilité limite} &= \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 10^9}} \cdot \frac{2000 \pi}{\sqrt{10}} \cdot \frac{\mathcal{M}}{R} \cdot 0,688 \cdot 2,4 \\ &= \frac{73,3}{1000} \cdot \frac{\mathcal{M}}{R} \end{aligned}$$

ce qui pour $R = 25$ donne 3 mm. à 1 mètre pour $\mathcal{N} = 1 \text{ C.G.S.}$

REMARQUE 1. — Avec 10 spires de fil de cuivre de $0,25 \text{ mm.}$ de diamètre bobinées sur un rectangle de 2 cm. sur 4 cm. , on réalise à peu près $I = 0,3$ et on est loin d'atteindre $r_g = 2 \text{ ohms.}$

Un champ $H = 500 \text{ gauss}$ fournit alors la résistance critique de 6 ohms. Le couple $C = 0,1 \text{ dyne-cm.}$ correspond par exemple à un fil en bronze phosphoreux de 40 cm. de long et $0,025 \text{ mm.}$ de diamètre.

REMARQUE 2. — Avec le galvanomètre utilisé plus loin $r_g = 5,5$, $r_c = 8,5$ et fermé sur des bobines plates identiques aux nôtres AB, il est aisé de montrer qu'on arrive seulement à doubler la sensibilité :

a) Soit en prenant le même fil et multipliant indéfiniment le nombre des spires ;

b) Soit en prenant le même nombre de spires et faisant croître indéfiniment la section du fil.

DEUXIÈME PARTIE. — DÉTAILS EXPÉRIMENTAUX

Galvanomètre. — C'est un Hartmann et Braun à cadre mobile avec deux sensibilités provenant de deux enroulements bobinés sur le même cadre. Le schéma, montre les connexions. ρ est une résistance de *manganine* de 50ω environ.

Voici les constantes générales :

Champ dans l'entrefer	$\mathcal{H} = 750 \quad \text{gauss}$
Couple de rappel pour un radian.	$C = 0,2805 \text{ dyne-cm.}$
Moment d'inertie du cadre	$I = 0,87 \text{ gr.-cm}^2$
Période	$T = 11,04 \text{ sec.}$
Rapport de deux amplitudes consé-	
cutives	$\frac{a_0}{a_1} = 1,16$
Coefficient de frottement en circuit	
ouvert.	$f = 0,0236$

Voici maintenant les constantes relatives à chaque sensibilité en C. G. S. :

	I	II
Nombres de spires du cadre	$n = 200$	25
S étant la surface d'une spire	$nSH = 770\,000$	96\,250
Sensibilité en courant continu (1 mm. à 1 mètre) .	$s = 3,65 \cdot 10^{-9} \alpha$	$2,9 \cdot 10^{-8} \alpha$
Résistance du cadre r	$r + \rho = 100 \omega$	$r = 5,5 \omega$
Résistance critique (entre les bornes)	$R_c = 500 \omega$	$R_c = 3 \omega$

REMARQUE. — Si nous considérons le coefficient de frotte-

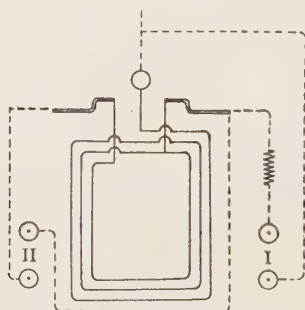


Fig. 46. — Cadre du galvanomètre.

ment d'origine électrique $10^{-9} \frac{n^2 S^2 H^2}{r}$, nous voyons que pour II il vaut à peu près $\frac{10}{r}$, ce qui nous montre qu'il faudrait arriver vers 450 ohms pour que le frottement visqueux devienne comparable. Dans tous les cas où nous nous sommes placés il n'a pas atteint le $1/6^e$ de cette valeur.

Bobines. — Je me suis servi des bobines utilisées par Mascart dans la détermination de l'ohm en colonne mercu-

rielle, et dont on trouvera en particulier les constantes dans le *Résumé d'expériences sur la détermination de l'ohm, etc.*, édité chez Gauthier-Villars, 1884.

Les bobines choisies sont celles qu'il appelle A et B, B est elle-même constituée de 6 enroulements (B_1 - B_6) que j'avais mis en série.

Voici les constantes globales de Mascart dans le mémoire cité :

Bobines	Longueur de fil en centimètres	Nombre de tours	Rayon moyen	Demi-épaisseur de la gorge		Résistance approchée
				radiale	axiale	
A	158890 c	900	28,0982	1,077	2,5	38,12 ω
B	87 104,0	498	27,8734	0,688	2,5	20,62

Pour les amener à être approximativement semblables, j'ai enroulé sur B un nombre de spires tel que les bobines étant en opposition et accolées, l'impulsion balistique fut à peu près nulle quand on retirait un petit aimant ; le nombre de spires était alors le même, 900 pour chaque bobine avec 1590 mètres de fil.

Le fil que j'ai ajouté avait $d = 0,8$ mm., le fil bobiné par Mascart $d = 1$ mm.

Les résistances mesurées ont donné :

$$R_A = 38,7 \omega, \quad R_B = 42,8 \omega.$$

Ces nombres sont naturellement approximatifs ne servant que pour des déterminations d'ordre de grandeur.

REMARQUE. — J'ai également utilisé deux solénoïdes A'B' de 75 cm. de long, 1 mètre de diamètre, 6 spires au centimètre, soit 450 spires au total avec une surface d'environ 900 mètres carrés. Les résistances mesurées étaient :

$$R_{A'} = 49 \omega, \quad R_{B'} = 59 \omega.$$

Chariot. — La substance aimantée est fixée par une sorte d'étau en bois et en laiton sur une plate-forme, mobile elle-

même sur un cercle gradué en cuivre rouge, divisé en demi-degrés (fig. 47). L'ensemble est fixé sur un chariot qui roule le long de rails en laiton, maintenus sur une planche de chêne, vissée elle-même sur une table. La hauteur de la planche a été réglée à l'aide de cales de telle façon que la substance aimantée soit centrée par rapport aux bobines.

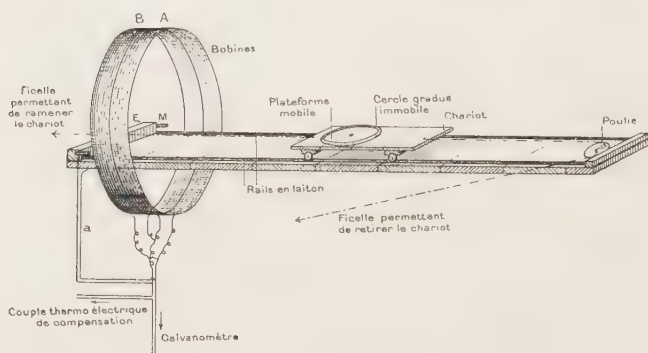


Fig. 47. — Bobines et chariot.

On s'est arrangé pour que le plan des rails soit horizontal, puis, le chariot étant en place, on a fixé l'ensemble de la plate-forme et du cercle gradué de façon que l'axe de rotation soit vertical. De même, on a réglé au fil à plomb la verticalité du plan des spires.

Une ficelle et une poulie permet de retirer brusquement des bobines le chariot et la substance aimantée qu'il supporte.

REMARQUES. — 1^o Sur le trajet du fil joignant les bobines au galvanomètre était disposé un inverseur. Une double manette solidaire de $\gamma\delta$ pouvait fermer soit en $\alpha\beta$, soit en $\alpha'\beta'$, changeant ainsi le sens du courant ;

2^o La règle transparente sur laquelle se mouvait le spot était divisée en millimètres ; les dixièmes étaient évalués au

juger, avec une précision qui se verra plus loin dans un exemple ;

3° Les longs trajets de jonction à travers le laboratoire, portaient toujours un fil d'aller tressé avec un fil de retour pour que leur mouvement possible balayât un flux nul ;

4° Les contacts, par pression, furent évités le plus souvent possible et remplacés par des *soudures* ; les quantités à mesurer étant en effet très petites, il convenait d'éviter les forces électromotrices de contact et les résistances mal définies ;

5° Pour la même raison, quand il fut inévitable d'avoir des contacts par pression on a toujours serré sur des surfaces planes de cuivre rouge ou sur de gros fils de 3 mm. de section.

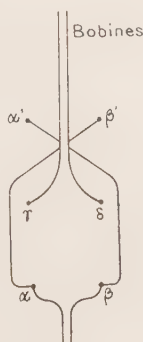


Fig. 48.

Inverseur.

Choix du groupement des bobines. — Je dispose de deux sensibilités au galvanomètre et de deux groupements possibles des bobines A, B soit en série, soit en dérivation. Déterminons quel est le plus avantageux tout en restant dans les conditions théoriques.

L'impulsion pour une variation de flux $\Delta \mathcal{F}$ est :

$$\theta_m = \frac{\Delta \mathcal{F}}{nSH} \Phi \left(\frac{r_c}{r} \right).$$

AVEC LA GRANDE SENSIBILITÉ quelle que soit la disposition des bobines $\frac{r_c}{r}$ reste grand, par exemple avec les bobines en série $\frac{r_c}{r} = \frac{600}{180} = 3,3$.

$\Phi = 0,95$ reste voisin de l'unité.

Désignant donc par φ la variation de flux pour une bobine nous avons avec les bobines :

En série	En dérivation
$\theta_m = \frac{2\varphi}{200 \cdot SH}$	$\theta_m = \frac{\varphi}{200 \cdot SH}$

AVEC LA PETITE SENSIBILITÉ :

	Avec une bobine	Deux bobines en série	En dérivation
	$r = 4,5$	8,5	2,5
$r_c = 8,5$	$\frac{r_c}{r} = 0,189$	0,1	0,34
	$\Phi = 0,3$	0,172	0,43
	$\frac{SH}{\varphi} \cdot \theta_m = \frac{1,2}{100}$	$\frac{1,376}{100}$	$\frac{1,72}{100}$

Nous voyons donc que le montage *en dérivation avec la petite sensibilité est le plus avantageux*.

Ayant mesuré les impulsions avec un même petit aimant placé au centre des bobines j'ai trouvé dans l'ordre :

	86	100	127
Nombres qui sont à ceux pré-			
vus dans les rapports . .	71,6	72,6	73,8

Ce qui me montre que même en dérivation, l'ensemble des deux bobines se comporte à peu près comme une bobine très plate et que nous sommes approximativement dans les conditions théoriques.

Tarage en moments magnétique. — Le groupement en dérivation étant adopté, j'ai cherché à quel moment magnétique correspondait 1 mm. d'impulsion. Pour cela j'ai bobiné 20 spires régulières côte à côte sur un cube de bois de 7 cm. de côté, puis j'ai monté ce cadre en série avec un accumulateur, un rhéostat et un ampèremètre continu très éloigné du cadre et d'ailleurs placé de façon à créer un champ parallèle aux spires. I étant exprimé en ampères, s étant la surface

d'une spire et n leur nombre, le moment magnétique du cadre est :

$$\mathfrak{M} \text{ C. G. S.} = \frac{nIs}{10} = 98.I.$$

I amp.	$\mathfrak{M}$	Impulsion en mm.	Sensibilité
0,4	39,2	38,2	1,026
0,54	52,92	51,55	1,026

Donc 1 mm. d'impulsion correspond à un moment de 1,026 C. G. S., soit sensiblement 1 C. G. S.

Mais le champ au centre de nos bobines pour un courant I_1 C. G. S. serait

$$\mathcal{H} = \frac{2\pi n_1 I_1}{R}$$

et l'énergie d'un petit aimant de moment $\mathfrak{M}$ dans ce champ $\mathfrak{M}\mathcal{H}$ qui vaut précisément $I_1\varphi$ au signe près. Donc le flux φ créé par un petit aimant de moment $\mathfrak{M}$ placé au centre de l'une des bobines normalement aux spires est :

$$\varphi = \frac{2\pi n_1 \mathfrak{M}}{R}.$$

Prenant 28 cm. comme rayon moyen des bobines, $n_1 = 100$ et $SH = 3850$, $\mathfrak{M} = 1$ C. G. S. :

$$\varphi_m = \frac{1,72}{100} \frac{2\pi n_1}{R.SH} = \frac{0,905}{1000}.$$

Ce qui nous fait pour 1 C. G. S., 0,905 mm. à 1 mètre au lieu de 0,975 trouvé, ce qui est bien du même ordre de grandeur. La différence tient aux approximations.

TROISIÈME PARTIE. — PERTURBATIONS

Jusque-là nous avons supposé un zéro immobile et une impulsion provenant uniquement de la variation de flux liée

au mouvement de la substance aimantée. Pratiquement trois types de perturbations sont venus troubler ces conditions.

Perturbations magnétiques. — En circuit ouvert le galvanomètre placé sur une table d'ardoise scellée dans le mur reste rigoureusement au repos malgré les trépidations. Mais si on le ferme sur les bobines A, B montées en dérivation on s'aperçoit aussitôt que le spot prend un mouvement incoordonné autour de sa position d'équilibre. L'amplitude moyenne des impulsions peut être de l'ordre du $1/2$ mm. de part et d'autre, mais elle peut atteindre exceptionnellement plusieurs millimètres et très rarement 1 cm. au pas sage des tramways.

Très vite je me rendis compte que les poutres de fer placées au-dessous et au-dessus du laboratoire jouaient un rôle important dans ces perturbations en fonctionnant dans le champ variable comme des aimants de moment magnétique variable, dirigé suivant leur axe. J'ai donc orienté mes bobines de façon que le plan des spires fut *parallèle* à la direction des poutres, ce qui a réduit les perturbations aux valeurs indiquées plus haut, les impulsions devenant quatre à cinq fois plus grandes quand les spires étaient normales aux poutres.

Une fois les perturbations ainsi réduites, j'ai fixé au butoir E (fig. 47) deux lames de laiton MM' faisant ressort et réunies par les fils α aux bornes des bobines AB. De la sorte quand le chariot était en place à l'intérieur de AB, son essieu réunissait les lames MM' et ainsi court-circuitait les bobines qui ne débitaient plus dans le galvanomètre. Le spot restait dès lors rigoureusement immobile et on partait d'une position d'équilibre bien définie.

Ces lames étaient placées de façon que le court-circuit fût coupé au moment où la substance aimantée passait au centre de symétrie des bobines. Le galvanomètre subissait alors l'im-

pulsion, atteignait son élongation maximum en 3 secondes et, en général, l'indication n'était faussée que faiblement par les perturbations durant ce temps. En tout cas leur influence étant essentiellement incoordonnée une moyenne les éliminait et fournissait l'élongation vraie (Cf. plus loin technique d'une mesure).

REMARQUE. — J'ai également fait des mesures sans court-circuiter en introduisant en série des bobines compensatrices parcourues en sens inverse par le flux perturbateur. La compensation n'est possible qu'approximativement, on perd en sensibilité, la méthode ci-dessus est bien préférable.

Perturbations thermiques. — Il faut tout d'abord protéger le galvanomètre contre les courants d'air qui se produisent nécessairement dans les salles chauffées. Les bornes sont en effet en maillechort, les fils de jonction sont en cuivre, la résistance totale est 5 ohms quand les bobines sont court-circuitées.

Or, au voisinage de zéro, pour une différence de température $\Delta\tau$ entre les deux soudures d'un couple cuivre-maillechort, il naît une force électromotrice

$$E = 1350.10^{-8} \Delta\tau.$$

Il est aisé de voir que dès lors une différence de température de $1/100^{\text{e}}$ de degré suffira pour créer un courant fournissant une déviation de 1 mm. à 1 mètre. Il est clair qu'il faut des précautions pour que de si petits changements ne se produisent pas. J'ai donc préservé le galvanomètre en l'enveloppant dans un cylindre à double paroi avec de la ouate dans l'intervalle; une fenêtre de mica permettait le passage de la lumière jusqu'au miroir.

D'autre part, les contacts cuivre-laiton en MM' étaient enveloppés dans la ouate. La force électromotrice correspondante étant six à sept fois plus petite que pour le couple maillechort-cuivre, il fallait $1/15^{\text{e}}$ de degré pour produire le même effet, c'était encore petit.

Malgré cela, à chaque court-circuit de petites forces électromotrices variables qui d'ailleurs pouvaient fort bien n'être pas seulement thermoélectriques créaient un courant permanent et changeaient la position d'équilibre du spot que nous appellerons le zéro. Mais après le départ du chariot une partie du circuit devient ouverte et ne joue plus de rôle, les forces électromotrices situées sur cette branche disparaissent. D'autre part, la résistance passe de 5 à 25, ce qui à égalité de force électromotrice réduit le courant à $\frac{1}{5}$ de sa valeur.

Pour cette double raison le zéro nouveau change et se rapproche beaucoup du zéro en circuit ouvert.

Ainsi voici un exemple de perturbation très forte. L'inverseur est en :

	Circuit ouvert	Fermé aux bobines	Court-circuité au chariot	Court-circuité à l'inverseur
$\alpha \beta$	Le zéro est à : 200	199	196,8	200,8
$\alpha' \beta'$	Le zéro est à : 200	201	204,5	200,2

On voit la complexité des phénomènes.

Le galvanomètre est le siège d'une petite force électromotrice, chaque branche de l'inverseur introduit la sienne distincte, la branche du court-circuit fait naître les principales, les bobines mêmes en créent d'importantes.

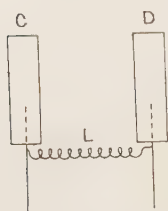


Fig. 49.
Le couple
thermoélectrique.

Dans ce cas particulier, l'élongation du spot au départ du chariot serait due non seulement à la variation de flux mais au travail de la torsion tendant à ramener le cadre de 196,8 à 199. Il faut avoir même zéro quand le galvanomètre est court-circuité au chariot ou fermé sur les bobines.

Dans ce but j'ai introduit en série avec le galvanomètre un couple thermoélectrique (fig. 47) disposé à portée de ma

main pendant les mesures. Il est constitué par deux masses CD de laiton (fig. 49) (6/1/1 cm.) perforées suivant l'axe. Dans les trous sont soudés, d'une part, les extrémités d'un fil de laiton L en spirale qui réunit électriquement les masses, d'autre part, deux fils de cuivre qui rejoignent le circuit. L'ensemble est couvert de ouate. Quand on étend le doigt sur l'une des masses de façon à la chauffer à travers l'ouate on crée un déplacement régulier du spot qui s'arrête dès que le doigt est enlevé et reste longtemps stationnaire (1/2 minute).

Court-circuitons au chariot et ramenons à l'aide du couple le spot au zéro en circuit ouvert. Au départ le zéro ne change pratiquement pas en général et l'impulsion est bien due uniquement à la variation de flux.

Perturbations élastiques. — Elles sont dues aux déformations des supports et sont de deux types :

1^o Lorsque l'observateur placé près du spot, dont il suit les mouvements, tire le chariot, il s'arcboute légèrement sur le parquet et produit une déformation qui fait incliner le support de la règle, créant ainsi un mouvement relatif du spot et de la graduation qui peut fausser l'impulsion vraie ;

2^o Si l'observateur suit le spot à distance avec une lunette tout en étant placé au voisinage des bobines, cette fois la déformation du parquet et l'inclinaison du support qui en est la conséquence créent un mouvement relatif des bobines et du champ terrestre ; un certain flux est balayé et une impulsion supplémentaire vient encore fausser l'impulsion vraie.

Il faut donc à la fois s'éloigner de la règle et des bobines. J'observais le spot à distance avec une lunette.

Les supports massifs en chêne qui portaient la règle et les bobines étaient collés ou vissés au plancher. Celui des bobines portait un système de jambes de force constitué par des

madriers de bois empêchant toute flexion tant latéralement que suivant l'axe.

La figure 50 montre schématiquement les articulations et les sept points de fixation au sol.

J'évitais de passer au voisinage de la règle, de peur de

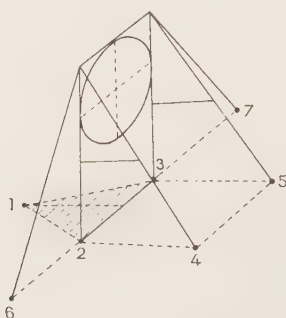


Fig. 50. — Points de fixation au sol.

créer des déformations permanentes du parquet amenant ensuite un lent déplacement du zéro.

A noter que la lampe à filament rectiligne fournissant le

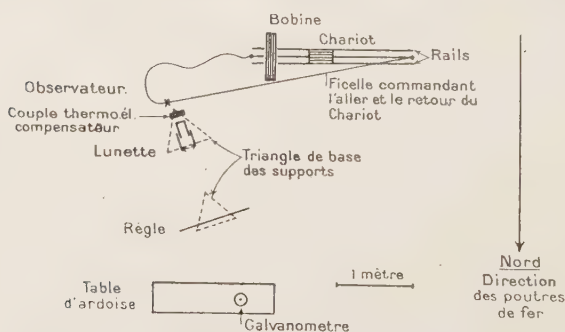


Fig. 51. — Disposition générale des appareils.

spot était liée à la règle d'une façon rigide et que le galvanomètre était porté par une plaque d'ardoise scellée au mur.

Noter de même que la table portant la planche de chêne

supportant les rails, était elle-même vissée au parquet et que cette planche traversait les bobines *sans les toucher* (fig. 47)

Dans la figure 51 représentant la disposition relative des diverses parties, les fils de jonction n'ont pas été dessinés.

REMARQUE. — Le mieux pour éviter ces perturbations élastiques serait de travailler sur un sol cimenté.

QUATRIÈME PARTIE. — TECHNIQUE D'UNE MESURE

C'est uniquement après toutes ces précautions que les mesures deviennent *cohérentes* et en particulier que la traction du chariot à vide ne fournit aucune impulsion. Voici un exemple de mesure qui montrera bien le rôle des perturbations magnétiques. Selon que le coupe-circuit du galvanomètre est en $\alpha\beta$ ou en $\alpha'\beta'$ l'impulsion est inversée. La plate-forme graduée portant la substance aimantée passe devant un repère fixe dont l'indication est δ .

Soit γ l'indication du spot.

BRIQUE 29 a (face XY horizontale) :

Circuit ouvert	$\gamma = 200$	
Court-circuité	$\alpha\beta$	$\alpha'\beta'$
à l'inverseur.	200,5	200,25
au chariot	201,3	199,3

A chaque mesure je ramène à 200 avec le couple thermo-électrique :

$$\delta_1 = 260^0$$

$\alpha'\beta'$	$\alpha\beta$	$\alpha'\beta'$
$\gamma = 202,7$	$\gamma = 197,2$	$\gamma = 202,5$
203,0	197,0	202,5
202,6	197,4	202,4
202,3	197,3	202,3
202,5	197,1	202,9
202,8	197,2	202,6
Moyenne : 202,65	197,2	202,55

Soit $5,4 \text{ mm.}$ pour le double de l'impulsion.

$$\delta_2 = 215^0$$

	$\alpha' \beta'$	$\alpha \beta$	$\alpha' \beta'$	$\alpha \beta$
	198,1	202,1	197,8	202,6
	197,6	202,0	197,4	202,2
	197,8	202,5	197,9	202,4
Moyenne :	197,8	202,2	197,7	202,4
	$\alpha' \beta'$	$\alpha \beta$	$\alpha' \beta'$	$\alpha \beta$
	198,0	202,2	198,2	201,9
	197,8	202,4	197,4	202,3
	197,0	202,6	197,6	202,3
Moyenne :	197,6	202,4	197,7	202,2
	Moyenne $\alpha \beta$:		202,3	
	Moyenne $\alpha' \beta'$:		197,7	
	Différence :		4,6	

Soit $4,6 \text{ mm.}$ pour le double de l'impulsion.

Cet intervalle δ, δ_2 comprend la position d'impulsion nulle puisque l'indication change de signe de l'un à l'autre pour une même position de l'inverseur.

La courbe étant sensiblement une droite dans l'intervalle, le zéro cherché est à $\delta_3 = 235^0$.

Je vérifie que pour cette position l'impulsion est bien nulle.

J'amène alors la face ZX ⁽¹⁾ de la brique dans le plan des spires en l'appliquant contre une règle :

$$\delta = 287^05.$$

L'angle du plan contenant l'aimantation avec cette face est donc :

$$\xi = 51^08.$$

Si l'on amène ce plan à être horizontal, la face XY ⁽²⁾

⁽¹⁾ L'une des faces verticales.

⁽²⁾ Qui était horizontale dans les mesures citées.

devient verticale; une mesure identique à la précédente fournit alors l'inclinaison sur XY.

REMARQUE 1. — On voit sur les tableaux comment les moyennes éliminent les perturbations magnétiques. La figure 52 ci-dessous montre graphiquement la distribution des impulsions dans le cas $\delta_2 = 215^0$.



Fig. 52.

Chaque groupe de trois mesures est figuré par trois points sur une même ligne. La moyenne correspond au trait vertical.

REMARQUE 2. — On se rend également compte de la précision avec laquelle on peut évaluer le 1/10^e de millimètre.

Méthode de résonance.

Principe. — La substance aimantée est supposée placée au centre d'un solénoïde ou d'un cadre plan circulaire dans la

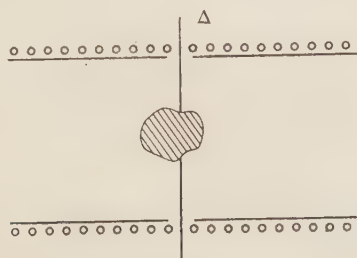


Fig. 53.

portion d'espace où le champ peut être considéré comme uniforme.

Cette substance est mobile autour d'un axe vertical Δ par rapport auquel elle peut prendre n'importe quelle position. Le flux avec les notations déjà utilisées pour la méthode balistique est :

$$\Delta \mathcal{F} = K \mathcal{M} \sin \xi$$

avec :

$$K = \frac{2\pi m}{R} \quad K = 4\pi \frac{m}{l}$$

(cadre plan circulaire) (solénoïde de longueur l)

Si le volume aimanté tourne d'un mouvement uniforme autour de Δ , le circuit est le siège d'une force électromotrice alternative de même période puisque $\Delta \mathcal{F}$ devient une fonction périodique. Fermons sur un galvanomètre. Si la période de rotation est identique à celle d'oscillation du cadre, il y a résonance ; au bout d'un petit nombre de périodes, l'amplitude atteint une valeur limite qui mesure la composante horizontale $\mathcal{M}$ du moment magnétique.

Il s'agit de trouver par tâtonnements un calage de la substance sur l'axe Δ , tel que le spot reste au zéro, le moment est alors dirigé suivant l'axe.

On peut aussi pour un parallélépipède déterminer les composantes des projections du moment sur les trois faces.

Sensibilité. — Nous nous plaçons dans des conditions assez éloignées de la résistance critique et nous rétablissons le frottement visqueux f .

Le mouvement du galvanomètre est fourni par :

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} + C\theta - \frac{i}{10} nSH = 0.$$

L'équation d'établissement du courant est :

$$ri = E - L \frac{di}{dt} - 10^{-8} \frac{d\mathcal{F}}{dt}.$$

Dans les conditions où nous nous plaçons le terme en $L \frac{di}{dt}$ est négligeable.

La variation de flux total provient des bobines et du galvanomètre. Soit ω la vitesse angulaire de rotation de la substance aimantée dans la bobine, l'équation d'établissement se réduit à :

$$ri = 10^{-9} \left(K \mathfrak{N} \omega \sin \omega t - nSH \frac{d\theta}{dt} \right)$$

ce qui me fournit comme équation du mouvement :

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(f + 10^{-9} \frac{(nSH)^2}{r} \right) \frac{d\theta}{dt} + C\theta - 10^{-9} \frac{nSH}{r} K \mathfrak{N} \omega \sin \omega t = 0.$$

En l'absence de la force électromotrice d'induction, l'équation sans second membre fournit une certaine période pour le galvanomètre.

Si la période $\frac{2\pi}{\omega}$ est différente, nous aurons des phénomènes de battements, mais si elle est *identique* le galvanomètre prendra bientôt un mouvement stationnaire d'amplitude constante limitée par le coefficient de frottement seulement.

Soit $\theta = \theta_0 \sin (\omega t - \varphi)$ ce mouvement.

Si le galvanomètre fermé sur r est assez peu amorti pour que l'on puisse écrire :

$$C - I\omega^2 = 0.$$

On trouve immédiatement par identification :

$$\theta_0 = \frac{10^{-9} \frac{nSH}{r} K \mathfrak{N}}{f + 10^{-9} \frac{(nSH)^2}{r}}$$

posant $x = \sqrt{10^{-9} \frac{(nSH)^2}{rf}}$:

$$\theta_0 = K \mathfrak{N} \cdot \sqrt{\frac{10^{-9}}{rf}} \cdot \frac{x}{1 + x^2}.$$

Ce dernier facteur est maximum pour $x = 1$, soit :

$$nSH = 10^4 \sqrt{10 rf}.$$

On a donc avantage à prendre un galvanomètre très peu amorti. Pour un rf donné il existe un nSH optimum.

Ainsi les sensibilités balistiques et de résonance sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_m = \frac{K\mathcal{N}}{nSH} \Phi \left(\frac{r_c}{r} \right) \\ r_c = 10^{-9} \frac{(nSH)^2}{2 \sqrt{IC}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta_0 = \frac{K\mathcal{N}}{nSH} \frac{x^2}{1 + x^2} \\ x^2 = 10^{-9} \frac{(nSH)^2}{rf} \end{array} \right.$$

Balistique Résonance

Pour un x^2 donné ces deux sensibilités sont dans le rapport :

$$\frac{\theta_0}{\theta_m} = \frac{x^2}{1 + x^2} : \Phi(Gx^2) \quad \text{avec} \quad G = \frac{f}{2 \sqrt{IC}}.$$

Quand x^2 croît de 0 à $\frac{1}{G}$ (résistance critique), $\frac{\theta_0}{\theta_m}$ part de $\frac{1}{2G}$ et tend vers $\frac{1,35}{G^2 + 1}$. Pratiquement G est petit ; la méthode par résonance est d'ailleurs d'autant plus avantageuse qu'il est plus petit. Pour notre galvanomètre, par exemple, $G = 0,0236$, car $\sqrt{IC} = 0,5$, il en résulte que :

$\frac{\theta_0}{\theta_m}$ part de 21 et décroît continuellement jusqu'à 1,35 quand r part de l'infini pour tendre vers la résistance critique.

La méthode par résonance est donc toujours plus sensible que la balistique, mais elle est surtout commode pour les petites valeurs de x^2 , c'est-à-dire pour les grandes valeurs de la résistance ; avec un galvanomètre donné son avantage sur la balistique décroît à mesure que la résistance tend vers sa valeur critique.

C'est ainsi qu'avec les bobines AB en dérivation et le cadre peu résistant, la méthode par résonance double seulement la sensibilité balistique.

REMARQUE 1. — Indépendamment de la sensibilité, cette méthode peut avoir le grand avantage d'éviter les chocs, ce qui pour les objets précieux est très important (aimantations de vases antiques).

REMARQUE 2. — J'ai utilisé cette méthode pour l'étude de l'aimantation de briques chaldéennes. J'utilisais les solé-

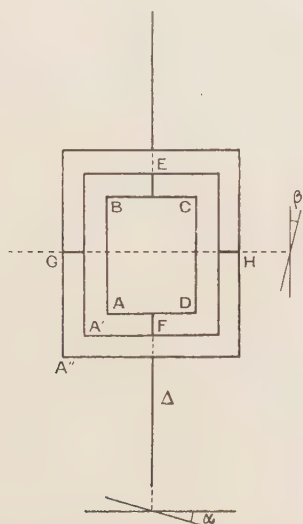


Fig. 54.

noïdes A'B' mis en série avec des bobines compensatrices pour atténuer les perturbations magnétiques. J'employais la petite sensibilité du galvanomètre qui, dans ces conditions, est la plus avantageuse. La brique était calée dans une boîte ABCD suspendue à la Cardan (fig. 54). Deux cercles divisés en E et G fournissaient les angles α et β . Désignant par $i_1 i_2 i_3$ les angles du moment avec les faces de la brique. On a :

$$\begin{aligned}\sin i_1 &= \cos \alpha_0 \sin \beta_0 \\ \sin i_2 &= \sin \alpha_0 \sin \beta_0 \\ \sin i_3 &= \cos \beta_0\end{aligned}$$

α_0 et β_0 étant les angles pour l'amplitude nulle, rapportés à la position pour laquelle les trois cadres sont dans le même plan.

Pour trouver ces angles on utilisait ce fait que l'un d'eux, β par exemple, étant voisin de β_0 , l'impulsion varie proportionnellement à $\alpha - \alpha_0$. La détermination est alors ramenée à des intersections de droites et d'axes.

J'avais une amplitude de 1 mm. à 1 mètre pour 2,56 C. G. S. Les résultats obtenus à diverses reprises sur une même brique ont montré que l'on pouvait compter en moyenne sur le degré en plus ou en moins.

CHAPITRE VII

Résultats.

Première partie. — Uniformité d'aimantation.

Rôle des chocs.

Etant données les propriétés physiques des laves on ne saurait s'attendre au sein de la masse à une uniformité rigoureuse. Un flottement de quelques degrés est tout à fait naturel. Mais on conçoit également qu'une aimantation à peu près uniforme puisse se produire surtout dans de *petits volumes*. L'expérience seule peut donc nous montrer quelles sont les conditions en général réalisées. Mais pour pouvoir constater dans quelle mesure on peut parler d'uniformité, il faut tout d'abord se demander si les chocs que reçoit le bloc pendant qu'on le détache n'ont pas une influence sur son aimantation.

Cette influence en tout cas devrait tendre à désorienter de façon quelconque l'aimantation initiale ou à la modifier en intensité. Si pour des blocs pris côte à côte les aimantations se montrent parallèles et égales, nous sommes en droit de conclure que dans ce cas :

a) L'aimantation dans cette région du massif même était uniforme ;

b) Les chocs n'ont pas eu d'influence de désorientation.

Quoi qu'il en soit cette question d'uniformité est essentiellement liée à une question d'échelle. La matière en der-

nière analyse étant hétérogène et contenant entre autres constituants des grains de magnétite, il est évident qu'à l'échelle microscopique il ne saurait également y avoir uniformité. Je ne m'arrêterai pas à cette étude dans des volumes de l'ordre du cm^3 . Les résultats déjà obtenus dans ce domaine ne sont pas encore interprétables avec une *certitude absolue*. Je considérerai trois cas :

1° Des volumes de quelques mètres cubes. Conditions dans lesquelles j'ai fait souvent mes prélèvements ;

2° Des volumes de l'ordre du *décimètre cube*, c'est-à-dire pour les fragments d'un bloc tel que je l'ai rapporté ;

3° Des volumes de l'ordre de la coulée, c'est-à-dire des distances de l'ordre de quelques kilomètres.

1° **Plusieurs mètres cubes.** — Dans les exemples qui suivent, les blocs ont été taillés sur le terrain même.

1° A Ognina je prends côte à côte *deux blocs* numérotés 2 et 5.

J'obtins pour leurs constantes :

	2	5	
	—	—	
Déclinaison =	14,7	15,9	degrés orientaux
Inclinaison =	57,1	56,9	degrés
δ =	0,0073	0,0078	C. G. S.

C'est le meilleur cas d'uniformité constatée. C'est l'un des deux seuls cas où j'ai pris deux blocs côte à côte, j'avais d'ailleurs trouvé comme déclinaison actuelle :

Déclinaison actuelle = 3,4 2,6 degrés occidentaux.

2° A Difesa j'ai pris également deux blocs très proches, quoique un peu plus éloignés que les précédents, ils nous donneront un cas tout différent à peu près le cas extrême du précédent :

	<u>51</u>	<u>52</u>	
Déclinaison figée =	5,5	11,9	degrés orientaux
Inclinaison =	58,0	59,4	degrés
J =	0,01	0,009	
Déclinaison actuelle =	5,7	1,3	degrés occidentaux.

Les variations de l'aimantation, et de la déclinaison actuelle montrent comment le champ en ce point a pu être troublé au moment de la solidification, ce qui explique les différences de déclinaison figée, et rend probable la préexistence de cette différence à tout travail des blocs. On verra d'après ce qui suit qu'un manque d'uniformité de ce genre est en général très improbable.

Si je n'ai pris que deux fois des échantillons se touchant, il m'est arrivé souvent d'en prendre le long d'une paroi à quelques mètres les uns des autres. Voici les exemples les plus significatifs :

Ognina, 1381. J'ai prélevé le long d'une paroi (fig. 55), trois blocs dont la position est indiquée sur la figure :

	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>
Déclinaison figée =	8,2	13,7	9,5
Inclinaison =	51,8	51,5	58,5
J =	0,0091	0,0079	0,0079
Déclinaison actuelle =	0,1	0,5	3,0

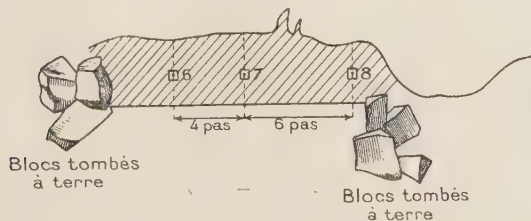


Fig. 55.

Linera, 1329 (fig. 56), trois blocs d'un même côté et le quatrième de l'autre côté de la route :

	19	20	21	22
	—	—	—	—
Déclinaison figée =	10°	13,5	8,3	11,7
Inclinaison =	60,5	57,0	58,5	59,0
$\mathcal{J}$ =	92,10 ⁻⁴	85	82	79
Déclinaison actuelle =	0,9	— 0,4	2,9	1,2

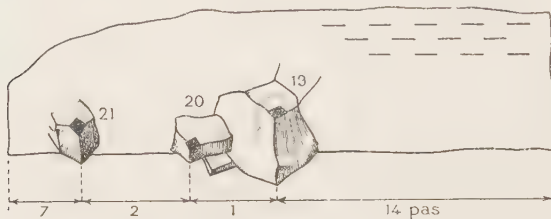


Fig. 56.

Linguaglossa, 1566 :

1° Dans une petite carrière de cultivateur peu profonde, sans parois élevées, je prélève trois blocs en ligne droite ; les mesures de $\mathcal{J}$ n'ont pas été faites :

	38	39	40
	—	—	—
Déclinaison figée =	10,9	11,9	18,4 degrés orientaux
Inclinaison =	52,0	52,3	57,0 degrés
Déclinaison actuelle =	8,4	7,8	8,3 degrés occid.

2° Le long d'une belle paroi à quelques mètres l'un de l'autre les blocs 41 et 43 ;

3° Le long d'une paroi basse, mais d'épaisseur régulière vraisemblablement d'une autre lave que la précédente. Blocs 20₁, 21₁, 22₁ :

	41	42
	—	—
Déclinaison figée =	19,5	16,4 degrés orientaux
Inclinaison =	50,4	50,0 degrés
$\mathcal{J}$ =	75	90 10 ⁻⁴ C. G. S.
Déclinaison actuelle =	7,0	8,4 degrés occidentaux,

	20_1	21_1	22_1
	—	—	—
Déclinaison figée =	25,0	21,6	21,3 degrés orientaux
Inclinaison =	54,0	55,0	56,0 degrés
δ =	83	71	76 10° C. G. S.
Déclinaison actuelle =	3,7	4,8	1,9 degrés occidentaux.

Toutes ces laves sont d'origines très diverses dans l'espace et le temps, de sorte que la conclusion doit avoir un caractère également général relativement à l'effet des chocs.

1° Tous les blocs au moment du premier martelage (façonnage du plan horizontal, puis rupture des liaisons) sont immobilisés dans le champ, les chocs ne leur donneraient-ils pas alors une aimantation de même allure? Les aimantations initiales étant *incohérentes*.

Il faut-remarquer que dans tous les cas cités, la déclinaison figée étant *orientale*, c'est-à-dire toujours du même côté du champ terrestre actuel, cette dissymétrie est incompatible avec l'idée d'une aimantation par chocs. Il faudrait d'ailleurs admettre que les premiers chocs aient une influence particulière car le bloc détaché est après avoir été détaché frappé dans tous les sens et dans toutes les positions par rapport au champ terrestre.

Il n'était pas inutile d'écarter ce point de vue puisque l'on sait qu'une barre d'acier martelée, immobile dans un champ, s'aimante. Il est vrai que dans le cas présent, il s'agit d'un cube et les coups de marteau sont donnés dans *tous les sens*.

2° Il faut donc admettre que l'influence des chocs ne peut que troubler une aimantation ordonnée antérieurement. Le trouble pourrait être de l'ordre de grandeur des différences entre blocs pris côte à côte. Mais comme :

a) Ces différences sont de même ordre que celles prévues par suite de l'aimantation des masses solidifiées proches, ou des petites rotations pouvant accompagner les mouvements de terrains ;

b) Comme il existe des cas où des échantillons prélevés

côte à côte et martelés de façons différentes donne des aimantations identiques.

Il semble naturel d'admettre que les chocs dans les conditions où le bloc est travaillé n'ont pas d'influence sensible, et que les différences effectives sont bien dues aux causes ci-dessus énumérées.

Delesse cependant rapporte qu'un basalte attirait la limaille de fer aux points frappés par le marteau, alors que les autres points étaient sans action. J'ai tenté vainement de réaliser cette expérience sur mes laves siciliennes, je n'ai pas pu la réussir. Il me semble d'ailleurs naturel que l'aimantation du point frappé soit violemment bouleversée, mais que cela impressionne seulement la surface du bloc et n'ait pas d'influence sensible sur le moment résultant d'un fragment de $1,5 \text{ dm}^3$. Des faits qui seront exposés ailleurs semblent en effet s'expliquer par une action de ce genre.

Quoi qu'il en soit, admettant que l'influence des chocs est négligeable, on ne peut pas en toute rigueur prévoir le degré d'uniformité dans une région donnée, mais on peut s'attendre à 4 ou 5 degrés de flottement dans la déclinaison pour des blocs de l'ordre du décimètre cube, pris en pleine lave homogène, dans un volume de l'ordre de 4 mètres cubes ; l'intervalle dans lequel varie l'inclinaison semble en général plus serré.

2° Quelques décimètres cubes — Ceci correspond à des mesures faites sur des fragments détachés au laboratoire d'un bloc déjà façonné sur le terrain. Si, par exemple, les *premiers chocs* avaient une influence spéciale, et si la lave par martelage arrivait à un état stable, on pourrait comprendre que ce dernier travail soit sans influence sur l'uniformité. Mais les résultats cités dans le paragraphe précédent ne permettent pas cette hypothèse. Les fragments suivants ont été coupés au burin et au marteau.

L'influence des chocs doit se déduire de la comparaison

entre la moyenne des deux fragments et le nombre obtenu sur le bloc entier ⁽¹⁾. Il faut noter que si la mesure d'inclinaison sur un fragment était faite au degré près, celle de déclinaison le serait seulement à 2 degrés près puisque la composante horizontale de l'aimantation est la moitié de l'intensité totale. La comparaison ci-dessus pourra donc donner pour les déclinaisons des divergences doubles de celles obtenues pour les inclinaisons. C'est ce que l'on constate (Cf. tableau 2) et comme le flottement de 1 à 2 degrés des inclinaisons est attribuable à la sensibilité insuffisante de la méthode, il en est de même des différences de 2 à 4 degrés des déclinaisons.

Nos observations n'ont donc mis en évidence aucune influence des chocs qui, si elle existe, est inférieure à la précision des mesures.

En revanche, nous retrouvons parfois à l'intérieur d'un bloc même la fluctuation d'uniformité déjà trouvée pour des points distants de quelques mètres, fluctuation de 5 degrés et plus en orientation (bloc 13₁), fluctuation de 1/5 en intensité.

La non-uniformité d'un bloc n'est donc nullement une raison pour le faire rejeter ; pas plus que son uniformité pour le faire accepter.

Uniforme ou non tout bloc peut fournir une direction de champ perturbée, les moyennes seules faites sur beaucoup d'échantillons peuvent éliminer ces perturbations.

3° Quelques kilomètres. — Il s'agit alors de comparer non plus des nombres mais des *moyennes*. Nous avons vu que les résultats obtenus sur un bloc isolé sont absolument dépourvus de sens.

Il faut même remarquer que les prélèvements de blocs le long d'une seule paroi définissent mal l'état magnétique en un point. Parce que leur disposition par rapport à la coulée

(1) Comparaison des chiffres en caractères gras (Tableau 2).

TABLEAU II

Origine	N° du bloc	Déclinaison orientale	Inclinaison	δ en C. G. S.	Nature du bloc	Masse en grammes	
Solichinata.	27 ₁	— 7° 7	51° 5	125		3125	Pas de mesure d'inclinaison. Bloc trop volumineux.
Zafferana.	27 ₁ fragm. 29	— 8 3 44 6	50°				
Zafferana.	29 fragm. 1	13	45 3	77,5.10-4		4385	
	29 fragm. 2	16	44 8	74 .10-4	poreux	3160	
	24	— 3	56 6	183 .10-4		3425	
Aci-Castello.	24 fragm. 1	2	54 5	175 .10-4		1520	
	24 fragm. 2	— 0 5	55 5	176 .10-4		1870	
	9 ₁	41 7					Le bloc entier était trop volumineux pour permettre une mesure correcte d'inclinaison.
id.	9 ₁ fragm. 1	6 7	67	68,5.10-4		3450	
	9 ₁ fragm. 2	8 4	67	61,5.10-4		3465	
Catane.	13 ₁	8,8	58 5		homogène		
	13 ₁ fragm. 1	10 5	63	51,5.10-4		3605	
	13 ₁ fragm. 2	2 8	56 5	53,5.10-4		3435	
	2 ₁	— 42 6	62				
	2 ₁ fragm. 1	— 15 8	61	77 .10-4		3840	
	2 ₁ fragm. 2	— 15 8	65	93,5.10-4		3570	

TABLEAU III

	Déclinaison figée	Inclinaison	J	Nombres de blocs concourant à la moyenne	Densité
1381	<i>Gravina</i>	16° 9	76, 7.10-4	2	2,76
	<i>Barriera</i>	21 6		3	
	<i>Ognina paroi (3)</i>	17 6	84 .10-4	4	2,74
	<i>paroi (4)</i>	10 5	82, 7.10-4	3	2,70
1329	<i>La Guardia</i>	12 9		4	
	<i>Lincra</i>	10 9	84, 5.10 4	4	2,75
	<i>Fleri</i>	4 1		2	
1566	<i>Gare</i>	7 4		5	
	<i>Carrière privée</i>	13 7		3	
	<i>Cimetière</i>	15 6	89 .10-4	4	2,70
			78, 3.10 1		
<i>Lave de la Sona</i> .	<i>Ferro Cavallo</i>	5 6	113 .10-4	2	
	<i>Casa operai stradali</i>	43 4		3	
	<i>Difesa</i>	7 9	101 .10-4	3	2,75
1669 (Catania).	<i>Via Belfiore</i>	— 9°		2	
	<i>Via Playa</i>	— 9 9		3	

étant la même, le champ où ils se sont solidifiés peut être, par rapport à celui de la région, entaché d'une différence systématique. Il faudrait donc en chaque point faire des prélèvements sur diverses parois, orientées de façons variées et situées sur toute la largeur de la coulée, par exemple dans les diverses coupures figurées ci-contre et on pourrait alors s'attendre à ce que les moyennes en A, B, C (fig. 57) soient

très voisines, puisqu'elles représenteraient le champ en ces divers points qui varie peu.

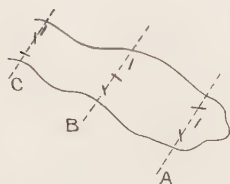


Fig. 57.

En fait je n'ai pas pu réaliser ce travail minutieux à cause du temps considérable qu'il exigerait et dont je ne disposais pas, puis parce qu'il me semblait nécessaire

de fixer les grandes lignes avant d'aborder les détails. Souvent aussi les carrières n'existaient pas côte à côte, et je me suis limité pour chaque point à une paroi unique. Des résultats sont consignés dans le tableau 3 ; on voit que :

1° Les intensités d'aimantation sont naturellement rapportées à des laves homogènes non poreuses. On verra plus loin pourquoi. Il est frappant qu'elles soient aussi constantes quand on change de coulée, cela tient vraisemblablement à la constance du champ inducteur et de la substance induite.

Il est probable que ce champ varie de moins de $1/5^{\circ}$,

Quant à la constance de la substance moyenne, elle est en partie prouvée par celle de la densité dont les variations de l'ordre de $1/50^{\circ}$ sont à peu près comparables à la précision de mes mesures.

En conséquence, il est probable que ces valeurs de $\mathcal{J}$ renseignent sur les valeurs du champ terrestre au moment de la solidification de la lave. Si ce champ, par exemple, a été double à un certain moment, il est probable que la valeur moyenne de $\mathcal{J}$ l'accusera.

2° Il est également à remarquer que l'inclinaison est généralement plus constante que la déclinaison, souvent elle varie moins à des kilomètres qu'à l'intérieur d'un même bloc. Les nombres en caractères gras (tableau 3) s'accordent mal avec ceux qui les accompagnent, mais cependant on peut conclure de ce tableau à un accord *satisfaisant* entre des points d'une coulée même très distants et espérer que si l'on pouvait travailler comme je l'indiquais au début l'accord deviendrait probablement bien meilleur.

3° On peut s'étonner du fait que d'une coulée à l'autre, dans les cas cités, les nombres varient presque aussi peu que sur une même coulée. Cela tient aux dates choisies qui correspondent, comme on le verra plus loin, à la boucle orientale de la déclinaison. J'ai précisément ajouté 1669 pour montrer qu'il n'en était pas toujours ainsi. La coulée de Monte Mojo en donnera plus loin un autre exemple.

Deuxième partie. — Intensité d'aimantation.

En général, quand on déplace une boussole de poche au voisinage d'un massif volcanique, sa direction ne se modifie pas sensiblement d'un point à l'autre, l'intensité d'aimantation étant trop faible pour agir de façon appréciable sans repérage précis d'orientation. Nous appellerons de semblables régions *normales* parce que ce sont les plus fréquentes.

Mais il arrive pour certains points singuliers que nous appellerons « punti distinti », terme consacré par les géophysiciens italiens, que l'aimantation devienne considérable, et que la boussole au voisinage de semblables massifs tourne de 180°. Nous avons décrit un point de ce genre dans la lave du Monte Urna (page 42). Il est situé sur la voie ferrée entre le premier et le second tunnel à la sortie d'Aci-reale. La zone d'aimantation anormale s'étend dans cette région sur plus de 150 mètres de part et d'autre de la voie, mais surtout du côté gauche en allant à Messine.

On sait que les laves frappées par la foudre deviennent de semblables zones de grande aimantation. Le professeur G. Platania m'a montré à Acî-reale des laves et des briques fulminées transformées en puissants aimants permanents. Mais est-ce à dire que tous les « punti distinti » doivent être attribués à la foudre? Je l'ignore, mais il me semble difficile d'expliquer par un effet de ce genre une zone ayant l'étendue de celle d'Acî-reale. La nature de ce phénomène ne peut être éclaircie que par une étude systématique de la distribution de l'aimantation dans quelques massifs. Je passerai d'abord en revue les cas d'aimantation anormale que j'ai rencontrés.

Lave de « punti distinti ». — Les blocs de ce genre que j'ai rapportés sont au nombre de six. Voici leurs constantes :

Lieu d'origine	N° du bloc	Déclinaison orientale	Inclinaison	Aimantation en C. G. S.
Lo Stazzo .	33	+ 56°	24°5	0,028
»	34	+ 41 5	28 5	0,021
Capo Schiso (2)	57	— 162	4	0,042
»	58	— 180	18	0,031
Acireale (2).	61	— 165	17	0,101
»	62	+ 24	— 29	0,087

On remarquera tout d'abord que ces aimantations qui paraissent considérables par contraste restent bien faibles vis-à-vis de l'aimantation permanente que peut prendre un bon acier, soit 500 C. G. S. par cm³.

Deux faits se dégagent du tableau :

1° L'incohérence des déclinaisons rapportées au méridien pour des « punti distinti » différents, mais le parallélisme approximatif pour les échantillons prélevés côte à côte. On notera pour 61 et 62 que les intensités d'aimantation sont parallèles et de *signe contraire*. On pourrait songer à l'induction par un courant presque vertical passant entre les deux points, mais la direction commune des aimantations

n'est pas *normale* à la droite qui joint ces points et dont la direction est à peu près nord-sud, elle fait même avec cette droite un très petit angle. On ne peut donc pas s'arrêter à cette hypothèse.

2° La *faible valeur des inclinaisons*; ces aimantations intenses tendent à devenir *horizontales*. L'une d'elles est nettement *négative*.

Il est à noter que si l'on considère une couche indéfinie d'épaisseur uniforme qui s'aimante sous l'action du champ terrestre $\mathcal{H}$ (fig. 58), le champ démagnétisant $\mathcal{H}'$ dû aux couches indéfinies des bases tend à relever l'inclinaison. Soit $\mathcal{J}$ l'aimantation prise par la couche indéfinie, elle est naturellement dirigée suivant la résultante $\mathcal{H}''$, du champ $\mathcal{H}$ et du champ démagnétisant $\mathcal{H}' = 4\pi\mathcal{J} \cos \theta$ où θ est le complément de l'inclinaison du champ actuel $\mathcal{H}$,

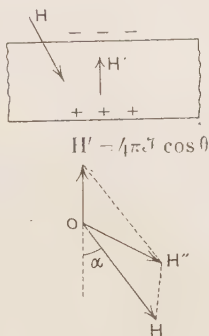


Fig. 58.

Si α est le complément de l'inclinaison du champ non troublé $\mathcal{H}$, on a :

$$\sin (\theta - \alpha) = \frac{2\pi\mathcal{J}}{\mathcal{H}} \sin 2\theta.$$

Cherchons l'intensité $\mathcal{J}$ qui amènerait l'inclinaison à 30° :

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta = 60^\circ \\ \alpha = 30^\circ \\ \mathcal{H} = 0,5 \text{ C. G. S.} \end{array} \right.$$

$$\mathcal{J} = \frac{0,5}{2\pi} \cdot \frac{\sin 60}{\sin 30} = \frac{0,5}{\pi} \cos 30 = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3}}{2\pi} = 0,14 \text{ C. G. S.}$$

On voit que cette *intensité d'aimantation* dépasse la plus forte valeur observée 0,1. D'ailleurs on ne saurait ainsi rendre compte du cas d'inclinaison *négative*. Le champ démagnétisant n'explique donc qu'une partie du phénomène.

On calculera aisément qu'avec les valeurs normales de $\mathcal{J}$, soit moins de 1/100 de C. G. S., la perturbation n'atteindrait pas 3° .

REMARQUE. — Les faits précédents sont trop peu nombreux pour permettre une conclusion, mais ils indiquent du moins qu'une étude détaillée de quelques massifs fournirait sans doute des résultats intéressants.

Régions normales. — De l'ensemble des mesures se dégage le fait suivant :

Les laves superficielles poreuses présentent une intensité d'aimantation très variable mais toujours supérieure à celle des laves homogènes intérieures. Ces dernières, au contraire, ont une *aimantation à peu près constante, qui s'est montrée la même pour toutes les coulées historiques.*

On sait, depuis Melloni, que les laves prennent par refroidissement brusque une aimantation supérieure à celle prise par refroidissement lent, ce qui explique bien comment la lave poreuse qui s'est refroidie le plus vite est également la plus aimantée.

Mais la lave intérieure qui est restée liquide pendant des mois a pris une aimantation qui ne dépend que du champ, et non de la loi de chute de température. Il suffit que la constitution du magma soit restée constante comme la valeur du champ terrestre pour que l'aimantation de la partie homogène se montre indépendante de la coulée considérée.

Voici les résultats pour quelques blocs poreux :

Lieu d'origine	N° du bloc	δ	Observations
Mangano . . .	17	0,0078	Criblé de petites bulles de quelques millimètres.
» . . .	18	0,0080	
Zafferana . . .	23	0,0175	
» . . .	24	0,0183	
Torre di Grifo . .	64	0,010	
» . . .	65	0,010	id.
Solichiata . . .	25 ₁	0,0153	id.
» . . .	26 ₁	0,015	id.
» . . .	27 ₁	0,012	A peu près homogène mais de surface.

Voici les résultats pour des blocs homogènes.

Date	Origine	N° du bloc	δ 10-4 C. G. S.	Observations	Date	Origine	N° du bloc	δ 10-4 C. G. S.	Observations
1384	Ognina	2 3 4 5	73 88 95 78	Moyenne = 82	1329	Linera	19 20 21 22	92 85 82 79	Moyenne = 84,5
	Ognina	6	91		1566	Linguaglossa	38 39 40 41 42 43 44	114 78 76 75 90 71 77	Superficiel → poreux Moyenne (1566) = 78
1669	Gravina	7 8 9 10	79 78 82 71						
	Catane	281 côte { 291 à côté { 41 21	89 60 60 85	Moyenne = 74 (?) Très peu uniforme	?	Linguaglossa	201 211 221	83 72 76	Moyenne = 77
1284	Zafferana	26 27 29 30	71 72 76 48 (?)	Moyenne = 75 (Ecart de la moyenne)	—, ? —,	Difesa	51 52 50 45 46	100 89 113 122 105	Moyenne = 106
?	Schiso	53 54 55 56	76 75 87 71	Moyenne = 77	—, ? —,	Ferro Cavallo	91 101 111 131	65 120 80 52	Moyenne ?
?	(Mte Urna) Aci reale	59 60 63	83 88 64 (?)			Aci-Castello			
Moyennes δ en 10-4 C. G. S. {		1284 75	1329 84	1381 82	1566 78	Linguaglossa 77	Schiso 77	Sona 106	Aci-Castello ?

On voit que la grande majorité des blocs est comprise entre 70 et 90. 10^{-4} C. G. S., limite inférieure des aimantations réalisées dans les parties centrales des coulées et dont on s'écarte à mesure que l'on arrive à la surface, atteignant 150 et 200. 10^{-4} C. G. S. dans les régions poreuses.

Laissant de côté les nombres peu concordants d'Acicastello, on voit que la coulée de la Sona seule fournit des nombres systématiquement plus élevés avec une moyenne de 105. 10^{-4} . Cette différence révèle-t-elle une autre constitution chimique ou une valeur différente du champ inducteur ? Je ne l'ai pas encore cherché, mais en tout cas la constance de cette intensité d'aimantation est frappante, et donne un intérêt à cette grandeur abstraction faite de son orientation.

Il est possible que dans les laves anciennes, cette limite inférieure de l'aimantation donne des renseignements sur la valeur absolue du champ au cas où cette valeur aurait fortement varié.

Troisième partie. — Orientation de l'aimantation.

COURANTS DE DATES CONNUES

COULÉE DE 1911.

Origine	N° d'ordre	Déclinaison orientale	Inclinaison	Observations
Solichiata	25 ₁	— 9°6	47°	
»	26 ₁	— 5 3	43	
»	27 ₁	— 7 7	51 5	
Moyenne générale		{ Déclinaison orientale = — 7°5 Inclinaison = 47°2		

COULÉE DE 1669.

Origine	N° d'ordre	Déclinaison orientale	Inclinaison	Observations
Catane, via Bel-fiore . . .	1 _i	— 5° 4 } <i>Moy.</i>	60° } <i>Moy.</i>	
» . . .	2 _i	— 12 6 } — 9°	62 } 61°	
Catane, via Pla-ja . . .	4 _i	— 9 3 } <i>Moy.</i>	65° } <i>Moy.</i>	
» . . .	28 _i	— 8 6 }	63 }	
» . . .	29 _i	— 11 8 } — 9° 9	67 } 65°	
Moyenne générale { Déclinaison orientale = — 9° 5				
{ Inclinaison = 63				

COULÉE DE 1566 (Linguaglossa)

Origine	N° d'ordre	Déclinaison orientale	Inclinaison	Observations
Gare (2) . .	23 _i	0° 45 { <i>Moy</i>	46°	
	24 _i	13 5 { 7° 2	46°	
Teleferique(3)	35	9 7 { <i>Moy.</i>	56° 7 }	<i>Moy.</i>
	36	4 9 }	52 3 }	
	37	8 2 { 7° 6	53 3 }	54° 1
Carrière (4) .	38	10 9 }	52 }	
	39	11 9 { <i>Moy.</i>	52 3 }	<i>Moy.</i>
	40	18 4 }	57 }	53° 8
Route de Piedimonte (5)	41	19 5 }	50 4 }	
	42	16 4 { <i>Moy.</i>	50 }	<i>Moy.</i>
	43	16 }	53 2 }	52° 1
	44	9 7 }	55 }	
Gare (1) . .	20 _i	25 } <i>Moy.</i>	54 }	Ces blocs à la limite extrême de la coulée, ont été éliminés de la moyenne comme douteux.
	21 _i	21 6 }	55 }	
	22 _i	21 3 { 22° 6	56 }	
Moyenne générale { Déclinaison orientale = 11° 6				
{ Inclinaison = 52				

Le bloc 42 qui semblait le meilleur de tous s'écarte assez de la moyenne pour la déclinaison.

COULÉE DE 1444. — Cette coulée dont je n'ai pas parlé dans le chapitre précédent ne m'a fourni aucun point profond. Je n'y ai prélevé que deux blocs non loin de Torre di Grifo. Les nombres correspondants ne sont qu'une indication :

N° 64	décl. or. = 10°3	inclinaison = 47°5
N° 65	décl. or. = 16°5	inclinaison = 53°

COULÉE DE 1381.

Origine	N° d'ordre	Déclinaison orientale	Inclinaison	Observations
Ognina (1)	6 ₁ 7 ₁	23° 4 38 7	54° 51 5	Bloc déplacé, écarté des moyennes.
» (2)	5' ₁	7 9	47 5	
» (3)	2 3 4 5	14° 7 22 1 17 7 15 9	57° 1 52 8 49 5 56 9	
» (4)	6 7 8	8 2 13 7 9 5	51 8 51 5 58 5	
Gravina (6)	9 11 10	19 14 7 — 2° 4	61 52 64° 3	
Licatia (5)	12 13 14	19 3 25 20 3	51 4 54 4 51	Très aberrant, écarte des moy.
Moyenne générale		Déclinaison orientale = 16° 6 Inclinaison = 53 5		

Le bloc 10 offrait toutes les garanties de solidification en place, il était impossible de prévoir *a priori* qu'il était dans une zone magnétique très troublée.

La différence entre les déclinaisons en (1) 6₁ et (3), puis en (2) et (4) révèle-t-elle une différence de date ? Je n'ai pas cru devoir l'admettre sans toutefois en être absolument certain.

COULÉE DE 1329.

Origine	N° d'ordre	Déclinaison orientale	Inclinaison	Observations
La Guardia Mangano(3)	15	6° 2	59°	} Moy. 56° 8
	16	24 8	55	
	17	18 7	53	
	18	1 7	60	
Linera (2)	19	10	60 5	} Moy. 58° 7
	20	13 5	57	
	21	8 3	58 5	
	22	11 7	59	
Fleri (1)	31	4 6	64 8	} 65° 2
	32	3 7	65 6	

Les blocs de Lo Stazzo ayant présenté une aimantation anormale n'ont pas figuré dans les moyennes.

Moyenne générale { Déclinaison orientale = 10° 3
Inclinaison = 59 2

Les blocs offrant de beaucoup le plus de garanties sont ceux de *Linera* dont la moyenne coïncide bien avec la moyenne générale.

Les résultats de la *Guardia* sont très discordants pour les déclinaisons. De même *Fleri* s'écarte de la moyenne.

Je comptais sur un quatrième point avec *Lo Stazzo*, malheureusement l'aimantation était trop intense pour fournir aucun renseignement utile (1).

Il est à noter que la valeur de l'inclinaison moyenne, qui n'est pas éloignée de la valeur prévue, est à rapprocher de la tradition populaire qui veut que cette coulée se soit répandue sur terrain sédimentaire.

(1) J'ai d'ailleurs constaté par examen pétrographique que cette lave de *Lo Stazzo* avait la constitution des laves antiques et n'était probablement pas de 1329.

COULÉE DE 1284.

Origine	N° d'ordre	Déclinaison orientale	Inclinaison	Observa- tions
Ballo (1) . . .	14 ₁	9° 4	56°	} 58°
	15 ₁	13 9	60 5	
(2) . . .	17 ₁	5 6	46 5	
	18 ₁	8 4	48	
Ballo (3) . . .	23	— 1 8	54	} 55°2
	24	— 3	56 6	
Bosco Nicolosi (4)	26	8 6	45 2	} Moy.
	27	3 4	50	
	29	14 6	45	
	30	10 3	43	
Moyenne générale		{ Déclinaison orientale = 6°9 Inclinaison = 50 5		

Il faut remarquer que dans les régions (1), (2), (3) les échantillons prélevés offraient peu de garanties. Ils appartenaient à de petites masses sortant du sol non à la partie profonde de la coulée. Cela explique pourquoi les valeurs de l'inclinaison sont assez discordantes.

Les meilleurs blocs étaient ceux de la région (4) tout particulièrement 26 et 27 qui fournissent :

$$\text{Déclinaison} = 6^\circ, \quad \text{Inclinaison} = 48^\circ,$$

c'est-à-dire à peu près la moyenne générale.

Quant à 23 et 24 ils sont constitués par une lave poreuse très aimantée (180.10^{-4} C. G. S.), cela explique l'anomalie de la déclinaison.

La déclinaison en Sicile depuis le XII^e siècle. — Si l'on trace avec les données de l'Atlas de Fritsche (¹), les variations de la déclinaison du XVI^e siècle à nos jours, on constate que les déclinaisons fournies par les laves en 1669 et 1911 se

(¹) H. Fritsche. *Atlas des Erdmagnetismus*. Riga, 1903.

placent sensiblement sur la courbe connue. Ayant trouvé ce résultat suffisamment probant, d'autant plus qu'il se reproduisait identique pour l'inclinaison, j'ai préféré ajourner une vérification plus détaillée et passer à l'étude des siècles antérieurs. Tous les résultats donnés avec détail précédemment sont résumés dans la courbe continue (fig. 59). Le point correspondant à 1444 n'étant fourni que par deux échantillons, est une indication secondaire. On voit que :

1^o Cette boucle orientale prolonge très exactement la boucle occidentale connue formant avec elle une courbe continue, non symétrique.

2^o Si cette courbe se reproduit périodiquement en fonction du temps, sa période est :

$$T = 750 \text{ ans.}$$

3^o Les deux boucles correspondent sensiblement à un temps moitié de cette période et à des amplitudes maximales égales, de l'ordre de 18°.

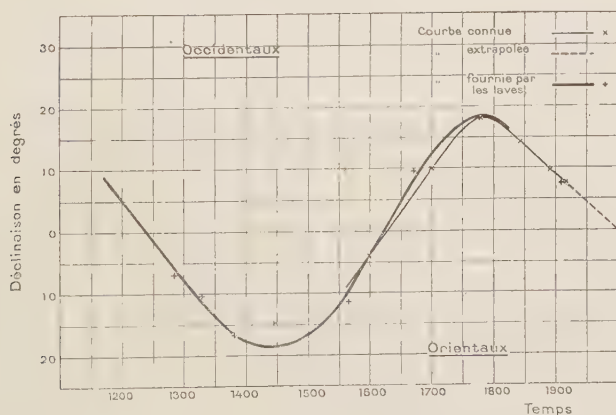


Fig. 59. — Variations séculaires de la déclinaison en Sicile.

Il faut remarquer qu'au delà de 1280, l'allure de la courbe est seulement probable. Si nous avions une raison sérieuse

pour attribuer à 1169 la coulée de la Sona, nous aurions pu la recourber avant la rencontre de l'axe et la faire passer par *9°5 oriental*. Mais comme une période fort large peut seule être assignée à la coulée, rien n'impose cette allure de courbe. On voit combien une coulée certaine du *xii^e* siècle serait utile.

REMARQUE. — Les renseignements relatifs aux documents les plus anciens pour l'étude des variations séculaires sont groupés p. ex. dans : E. Mascart, *Traité de magnétisme terrestre*, Gauthier-Villars 1900 page 235 et suiv.

La plus longue série connue est celle de Paris, qui remonte à 1541. La courbe des variations de la déclinaison ⁽¹⁾ semble passer par un minimum vers 1570, mais il est difficile de l'affirmer, étant donnée la faible précision des mesures pour les deux premiers points et la situation aberrante du troisième. Il est tout aussi naturel de faire passer la courbe entre ces trois points et de prolonger l'arche orientale de plusieurs siècles.

Après la série de Paris viennent celles de Rome, Londres, Christiania, Copenhague... etc. Le calcul de ces séries conduit à des périodes fort différentes suivant les auteurs : *450 ans* pour Schott, *600 ans* pour Rayet, *850 ans* pour Barlow.

Je crois donc qu'il n'y a pas lieu d'opposer les mesures effectives aux résultats fournis par les laves.

L'inclinaison en Sicile depuis le *xii^e* siècle. — On remarquera tout d'abord que l'amplitude de variation de l'inclinaison n'atteint pas la moitié de celle de la déclinaison et que pour cette seule raison nous devons nous attendre à une concordance relative moindre.

Mais si la position des points 1284, 1329, 1911 et à la

(1) Cf. p. ex. Winkelmann. *Handbuch der Physik* V₁ p 487.

rigueur 1381 peut être considérée comme écartée fortuitement de la courbe périodique supposée, il ne saurait en être de même du point 1566. Je n'attribue qu'une faible valeur au point 1444 fourni par deux échantillons seulement. La courbe des laves présente donc une dent singulière et s'écarte notablement de la courbe vraisemblable (fig. 60).

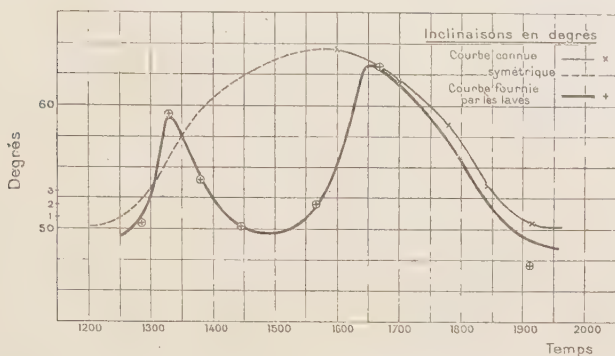


Fig. 60. — Variations séculaires de l'inclinaison en Sicile.

Je ne crois pas que son allure corresponde à la variation réelle de l'inclinaison. Sans doute le champ démagnétisant de la coulée même susceptible de relever l'inclinaison de 2° ou 3° ne saurait expliquer l'anomalie, mais rien ne prouve que l'aimantation des coulées sous-jacentes ne soit pas beaucoup plus intense et ne cause pas cette perturbation.

Toutefois, il faut remarquer que cela exige une face nord à la partie supérieure de ces coulées sous-jacentes, ce qui confirmerait les résultats de Folgheraiter sur l'existence à certaines époques d'une inclinaison australe.

Il faudra multiplier les mesures dans cet intervalle anormal, pour voir si d'autres points se placent sur cette même courbe, ou si leur distribution incohérente prouve au contraire qu'il s'agit de perturbations locales.

COURANTS DE DATES INCERTAINES

COULÉE DE LA SONA.

Origine	N° d'ordre	Déclinaison orientale	Inclinaison	Observations
Ferro Cavallo (2)	45	6° 8	58°	Moy. 60° 1
Casello operai stradali (1)	46	4 3	62 3	
	47	12 5	64 5	
	48	8 2	64 8	
	49	18 9	62	
Difesa (3)	50	6 4	61 3	
	51	5 5	58	
	52	11 9	59 4	59° 6
LAVE D'ACI CASTELLO.				
(2)	11 ₁	6°	55° 5	Bloc ayant subi un déplacement après solidification. Ecarté des moyennes.
	12 ₁	3 5	58	
	13 ₁	8 8	58 5	
(1)	9 ₁	11° 7	65°	
	10 ₁	— 29 7	30 5	
				Sona Aci-Castello
Moyenne générale { Déclinaison orientale.				9° 3
{ Inclinaison				61 3
				7° 5
				59 2

Ces deux coulées fournissent donc à peu près les mêmes constantes magnétiques. Cette coïncidence n'a pas reçu d'explication.

Si d'ailleurs nous nous reportons aux courbes établies antérieurement nous voyons qu'en 1169 on devrait avoir comme orientation du champ :

$$\begin{aligned}\text{Déclinaison orientale} &= - 9^{\circ} \\ \text{Inclinaison} &= 50^{\circ}\end{aligned}$$

Il y a donc une différence de 18 degrés entre le nombre

réel et le nombre prévu pour la déclinaison. Aucune raison sérieuse ne nous imposant 1169, nous admettrons que ni l'une ni l'autre de ces coulées n'est de cette époque. Je ne parle pas de l'inclinaison qui, elle, offre moins de garanties.

Cherchons à quelles dates la déclinaison atteignait $9^{\circ}5$ orientale. Admettant une variation périodique de période 750 ans, et une variation de l'inclinaison correspondant à la reproduction symétrique et périodique ($T = 750$ ans) de la portion de courbe connue on a le tableau suivant, où j'ai fait figurer les dates d'éruptions connues les plus proches des époques où la déclinaison vaut $9^{\circ}5$:

Déclinaison	$9^{\circ}5$ degrés orientaux							
Inclinaison.	$64^{\circ}5$	$54^{\circ}5$	$64^{\circ}5$	$54^{\circ}5$	$64^{\circ}5$	$54^{\circ}5$	$64^{\circ}5$	$54^{\circ}5$
Epoque corresp. . .	1565	1315	815	565	65	— 185	— 685	— 935
Date d'éruption la plus proche . .	1566 Lingua- glossa	1329 Fleri, Lo Stazzo	812 (?)	Vers 550 activité	72 (?)	(incon- nu)	— 693 (Catane) Fratelli pii	(incon- nu)

Comme la coulée de la Sona est très postérieure à l'époque romaine mais antérieure au xiv^e siècle, on voit que la date de 812 lui convient parfaitement; l'inclinaison magnétique de la coulée 6103 est même fort proche de l'inclinaison prévue $64^{\circ}5$.

Pour la lave d'Aci-Castello rien ne limite les dates possibles. Par suite 565, 65 conviennent également. Pour décider il faudrait avoir d'autres éléments chronologiques.

REMARQUE. — Je rappelle que le 4 février 1169 un terrible tremblement de terre détruisit Catane jusqu'à la dernière

maison, mais aucun texte ne parle positivement de coulée de lave.

Quant à l'éruption de 812 mentionnée dans plusieurs documents et rapprochée du voyage de Charlemagne en Sicile, son existence est mise en doute par Lassaulx, le voyage de Charlemagne en Orient étant une pure légende. Alessi dans son histoire critique de Catane admet au contraire son authenticité.

COULÉE DE SCHISO

Origine	N° d'ordre	Déclinaison orientale	Inclinaison	Observation
Capo Schiso .	53	— 10°	62°	$\delta = 76,5.10^{-4}$.
»	54	— 28	71 5	$\delta = 75 .10^{-4}$.
»	55	— 48	72 5	$\delta = 87 .10^{-4}$.
Foresta . .	56	— 72	70 5	$\delta = 71 .10^{-4}$.

COULÉE DE MONTE URNA

Origine	N° d'ordre	Déclinaison orientale	Inclinaison	Observation
Fonte Cervo (Aci) . . .	59	3°	45°	$\delta = 83.10^{-4}$. $\delta = 88.10^{-4}$.
»	60	— 1 6	30	Peut être un peu déplacé.
Ferrovia (Aci-reale). . .	63	20 7	49	$\delta = 64.10^{-4}$.

Les résultats sans doute sont très discordants, mais on voit mieux que dans aucun autre exemple comment les données magnétiques peuvent différencier nettement deux coulées. Cela tient sans doute à ce qu'elles sont très anciennes. Celle de Capo Schiso en tout cas sort nettement des limites historiques d'orientation du champ magnétique en Sicile. C'est encore une confirmation de son *antiquité*.

On remarquera de plus que l'intensité d'aimantation $\mathcal{J}$ tombe dans les limites habituelles.

Comparons l'orientation moyenne de cette aimantation à celle présumée pour le champ à l'époque de l'anecdote de Diodore.

		Schisó	Monte Urna
		—	—
Moyenne {	Déclinaison orientale.	— 39°	7°4
générale {	Inclinaison	69°	41°

Admettons pour le moment que les courbes connues puissent être extrapolées jusqu'à la date de — 394, avec la période admise de 750 *ans* on aboutit pour cette date à la même orientation du champ qu'en 1856, soit :

$$\begin{aligned}\text{Déclinaison orientale} &= - 13^{\circ} \\ \text{Inclinaison} &= 53^{\circ}\end{aligned}$$

Avec la courbe d'inclinaison fournie par Folgheraiter à la suite de son étude sur les poteries étrusques, on obtiendrait seulement :

$$\text{Inclinaison vers } (- 400) = 20^{\circ}.$$

Ni l'une ni l'autre de nos coulées ne semblent pouvoir s'accorder avec ces nombres.

Notre hypothèse de périodicité ne vaut-elle pas jusqu'à cette époque ?

L'aimantation de la roche, aurait elle évolué depuis cette date reculée, ce qui expliquerait d'ailleurs la discordance des résultats pour des blocs aussi voisins que 53, 54, 55 ?

Ou bien ni l'une ni l'autre des coulées ne correspond-elle à l'anecdote de Diodore ?

Il est actuellement impossible de choisir entre ces trois hypothèses.

Mais il ne faut pas oublier que trois courants de l'époque grecque et romaine — 693, — 122, + 252 restent encore à étudier au voisinage de Catane, permettant de contrôler la

courbe d'inclinaison de Folgheraiter et l'hypothèse de périodicité.

Quand ce travail sera fait, on pourra reprendre en détail l'étude de ces deux coulées et choisir alors entre les trois hypothèses ci-dessus énoncées.

REMARQUE. — Toutes nos coulées antérieures à 1600 ayant manifesté une déclinaison orientale et une inclinaison proche de 55° y comprises les coulées présumées de 1169, il pouvait subsister un doute au sujet d'un rapport effectif entre les écarts et les variations séculaires de l'orientation du champ. Ne serait-il pas possible, par exemple, que toutes les coulées anciennes aient ainsi fourni un champ oriental peu variable et une inclinaison à peu près constante. *Le courant de Schisò nous montre qu'il n'en est rien*, que les constantes magnétiques sont bien SPÉCIFIQUES de la coulée, et que nos nombres n'étaient serrés que grâce au choix des dates d'éruption. D'ailleurs les résultats de Brunhes le prouvaient également ; il avait, par exemple, trouvé pour la coulée de *Royat* :

$$\text{Déclinaison} = - 50^{\circ}$$

$$\text{Inclinaison} = + 70^{\circ}$$

nombres analogues à ceux de *Schisò*, malgré la différence des époques, fin du tertiaire pour *Royat*, 10000 à 20000 ans pour *Schisò*.

Résultats.

Deux méthodes d'induction, l'une balistique, l'autre de résonance, m'ont permis d'étudier l'aimantation d'échantillons de lave sur lesquels j'avais repéré un plan horizontal et le méridien géographique. Les conclusions sont les suivantes :

1^o A la précision près des mesures, les chocs sont sans influence sur l'état magnétique figé dans la lave.

2° L'aimantation dans des volumes de l'ordre du décimètre cube peut subir des fluctuations assez grandes d'orientation et d'intensité, en sorte que l'uniformité est seulement approximative. Cela tient au champ propre créé par les masses aimantées qui peut troubler le champ terrestre de quantités de même ordre. Ces perturbations s'éliminent sur les moyennes.

Ces moyennes sont alors constantes le long d'une même coulée et caractérisent le champ terrestre au point où la lave s'est solidifiée ⁽¹⁾.

3° L'intensité d'aimantation variable dans les régions superficielles tend vers une limite inférieure dans les régions centrales. Cette limite inférieure seule est constante le long d'une coulée. Pour les divers courants historiques elle s'est d'ailleurs montrée sensiblement fixe et voisine de 0,008 C. G. S. Cette aimantation peut atteindre 0,015 à la surface et 0,1 à certains « punti distinti ».

4° L'orientation de l'aimantation pour les coulées de 1669 et 1911 coïncide bien avec la direction du champ terrestre à ces époques.

5° Pour les coulées antérieures 1566, 1444, 1381, 1329, 1284 on aboutit à ceci :

a) La courbe de déclinaison prolonge exactement la courbe connue. Elle passe du côté oriental vers 1630, par un minimum de 18° *orientaux* vers 1440 et redevient occidentale en 1240, fournissant une période de 750 *ans* si toutefois le phénomène continue à être périodique. Les arches orientales et occidentales, sans avoir même forme, ont d'ailleurs une même amplitude de 18° et une même longueur de 375 *ans* ;

(1) Ce champ sur le pourtour du volcan ne diffère pas beaucoup en déclinaison du champ régulier hors du volcan, ce qui permet de comparer sans corrections les résultats des diverses coulées. L'inclinaison tout au contraire apparaît comme fort troublée.

b) La courbe d'inclinaison tout en restant comprise entre 50° et 60° , montre au contraire des discontinuités que j'attribue aux laves sous-jacentes.

6° La coulée de la Sona que des raisons diverses localisent entre la décadence romaine et l'invasion normande, correspond exactement au point de vue magnétique à l'éruption de 812 et non de 1169 comme on l'avait supposé.

7° La coulée de Schisò (déclinaison = 40° occidentaux ; inclinaison = 70°) s'éloigne beaucoup par ses constantes magnétiques des coulées précédentes qui fournissaient des résultats au contraire fort serrés. Elle laisse espérer dans les courants anciens une variété suffisante pour permettre une chronologie.

Celle du Monte Urna présumée de 394 avant Jésus-Christ ne fournit pas l'inclinaison indiquée par Folgheraiter pour cette époque, ni d'ailleurs l'orientation du champ prévu par l'hypothèse périodique.

8° La coordination des résultats précédents confirme la stabilité d'aimantation durant des temps de l'ordre des périodes historiques.

BIBLIOGRAPHIE

- HUMBOLDT. — Ueber die merkwürdige magnetische Polarität einer Gebirgskuppe von serpentinstein. *Grens neues Journal der Physik*, t. IV, p. 136, 1797.
- A. DELESSE. — Sur le magnétisme polaire dans les minéraux et dans les roches. *Ann. de Ch. et de Ph.*, t. XXV, p. 194, 1849.
- Sur le pouvoir magnétique des roches. *Ann. des Mines*, 4^e série, t. XIV, pp. 81 et 429; t. XV, p. 497, 1849.
- MELLONI. — Ricerche intorno al magnetismo delle roccie. *R. Ac. delle Scienze di Napoli*, t. 1, pp. 121 et 141, 1853.
- Sur l'aimantation des roches volcaniques, *C. R.*, t. XXXVII, p. 229, 1853.
- Sur le magnétisme des roches. *C. R.*, t. XXXVII, p. 966, 1853.
- *Sulla polarità delle lave e roccie affini*. Naples, 1856.
- FÖRSTEMANN (F.-K.). — Magnetismus d. Gesteine (30 p.). *Pogg. Ann.*, t. 106, p. 106, 1859.
- FOLGHERAITER. — Origine e distribuzione del magn. nelle roccie vulcaniche del Lazio. *Rend. Ac. Linc.*, 5^e série, pp. 53 et 117, 2^e sem. 1894.
- Orientation et intensité du magnétisme permanent dans les roches volcaniques du Latium. *Rend. Ac. Linc.*, 5^e série, p. 165, 2^e sem. 1894.
- L'induzione terrestre ed il magnetismo delle roccie vulcaniche. *Rend. Ac. Linc.*, 5^e série, p. 203, 1^{er} sem. 1895.
- L'azione chimica nella magnetizzazione delle roccie vulcaniche. *Rend. Ac. Linc.*, 5^e série, p. 78, 2^e sem. 1895.
- BRUNHES (B.). — Direction de l'aimantation dans des couches d'argile. *C. R.*, t. 133, p. 155, 1901.
- BRUNHES et DAVID. — Sur la direction de l'aimantation permanente dans diverses roches volcaniques. *C. R.*, t. 137 (II), p. 975, 1903.
- DAVID (P.). — Sur la stabilité de la direction d'aimantation dans quelques roches volcaniques. *C. R.*, t. 138 (I), p. 41, 1904.
- BRUNHES (B.). — Sur la direction de l'aimantation permanente dans une argile métamorphique de Pontfarcin (Cantal). *C. R.*, t. 141 (II), p. 567, 1905.

- Les travaux récents de magnétisme terrestre dans la France centrale. Le présent et le passé magnétique des volcans d'Auvergne. *Bull. de la Soc. belge d'Astronomie*, n^o 11, 1905.
- MERCANTON (P.). — Aimantation de diabases du Spitzberg. *Bull. Soc. vaud. Sc. Nat.*, 1910.
- Etat magnétique des diabases de l'Isfjord à Spitzberg. *C. R.*, t. 151 (II), p. 1092, 1910.
- Etat magnétique des basaltes groenlandais. *Arch. Sc. ph. et nat.*, Genève; *C. R.*, t. 165 (II), p. 632, 1917.
- Etat magnétique de basaltes arctiques. *C. R.*, t. 174 (I), p. 1117, 1922.
- LASSAULX (A. VON). — *Der Etna nach der Manuscripten des Verstorbenen*, Dr W. SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN, 2 vol. in-4^o, Leipzig, Engelman, 1880.

Cartes.

- CHAIX (E.). — Carta volcanologica e topografica dell' Etna 1 : 100 000, Ginevra. Comptoir minéralogique et géologique suisse, 1892, complétée en 1902.
 - Carte d'état-major italien au 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000. Istituto geografico militare di Firenze.
 - Nota.** — Pour la bibliographie des travaux secondaires, voir GÜNTHER, *Geophysik*.
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
SOMMAIRE.	I

CHAPITRE PREMIER

Historique.

Magnétisme des roches	3
De Humboldt à Melloni.	3
Travaux de Folgheraïter	6
Travaux de Brunhes et David	11
Plan général du travail.	14

CHAPITRE II

Chronologie et topographie des coulées.

Bibliographie, nomenclature	16
Lave de 1911	17
Lave de 1669	19
Lave de 1566	20
La coulée de 1381.	23
La coulée de 1329.	29
Sciarra de Femina morta (1284)	31
Laves présumées de 1169	36
Laves présumées des Carthaginois	39

CHAPITRE III

Propriétés physiques des laves. Prélèvement des échantillons.

Aspect superficiel des coulées	43
Structure d'une coulée	44
Propriétés physiques des laves	46
Solidification et mécanisme de l'aimantation	48
Choix de l'emplacement pour prélever les échantillons.	51

CHAPITRE IV

Repérage des orientations.

GÉNÉRALITÉS

	Pages
Plan horizontal	55
Méridien géographique	57
Méridien magnétique actuel	58

DÉTAILS TECHNIQUES

<i>Première partie</i> : Taille des laves	59
<i>Deuxième partie</i> : Le théodolite et ses réglages	64
<i>Troisième partie</i> : Calcul numérique du méridien	74

CHAPITRE V

Champ terrestre en terrain volcanique.

Généralités. Déclinaison vraie et déclinaison apparente	79
Interprétation des mesures	80
<i>Première partie</i> : Répartition théorique	83
<i>Deuxième partie</i> : Résultats expérimentaux	89
Conclusion	95

CHAPITRE VI

Mesure par induction des petites aimantations.

Méthode magnétométrique et méthode d'induction	97
¹⁰ <i>Méthode balistique</i> . Principe	100
Liaison entre le repérage géographique et l'aimantation mesurée au laboratoire	102
Sensibilité de la méthode balistique	103
Sensibilité limite	106

DÉTAILS EXPÉRIMENTAUX

Galvanomètre	109
Bobines	110
Chariot	111
Choix du groupement des bobines	113

	Pages
Les perturbations magnétiques, thermiques, élastiques	115
Technique d'une mesure.	121
2 ^e Méthode de résonance. Principe.	123
Sensibilité. Comparaison avec la méthode balistique.	124

CHAPITRE VII

Résultats.

<i>Première partie</i> : Uniformité d'aimantation. Rôle des chocs	129
<i>Deuxième partie</i> : Intensité d'aimantation	139
Lave de « punti distinti »	140
Régions normales	142
<i>Troisième partie</i> : Orientation et champ terrestre	144
Détail des mesures pour 1911, 1969, 1966, 1944, 1381, 1329, 1284	144
La déclinaison en Sicile depuis le xii ^e siècle	148
L'inclinaison en Sicile depuis le xii ^e siècle.	150
Lave de la Sona et d'Aci-Castello	152
Lave de Schisò et du Monte Urna.	154
Résultats généraux	156
BIBLIOGRAPHIE	159
TABLE DES MATIÈRES	161

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITION DONNÉE PAR LA FACULTÉ

Paramagnétisme et température.

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 16 Juin 1924.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

M. MOLLIARD.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

P. APPELL.

